

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ  
УСЛОВИЕ ИННОВАЦИОННОГО  
РАЗВИТИЯ АПК**

Материалы  
Международной научно-технической конференции

*(Минск, 21–22 декабря 2021 г.)*

Минск  
БГАТУ  
2021

**Энергосбережение** – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 21–22 декабря 2021 г.) / под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2021. – 412 с. – ISBN 978-985-25-0143-9.

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 и др.

В докладах отражены теоретические и практические достижения ученых Беларуси, Украины, России, Польши, КНР, Казахстана, 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 кандидата технических наук,  
доцента И. В. Протосовицкого

Редакционная коллегия:

*Протосовицкий И. В.*, канд. тех. н., доц. (научный редактор);

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

*Прищепов М. А.*, д-р тех. н., доц.;

*Забелло Е. П.*, д-р тех. н., проф.;

*Заяц Е. М.*, д-р тех. н., проф.;

*Арабей С.М.*, д-р физ.-мат. н., доц.

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

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

**Полещук Л.Л., заместитель директора Департамента  
по энергоэффективности Госстандарта,  
Минск, Республика Беларусь**

**ВНЕДРЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ПУТЬ К  
КЛИМАТИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНОМУ БУДУЩЕМУ**

Глобальное изменение климата уже в наши дни приводит к разнообразным физическим, социально-экономическим и гуманитарным последствиям. В 2020 году антропогенные выбросы парниковых газов выросли с 1950 г. в 3,4 раза, что в свою очередь происходило на фоне глобального экономического роста – численность населения возросла примерно в 3 раза, мировая экономика – в 18 раз, потребление энергии – в 5 раз, потребление природных ресурсов – в 10 раз. Основной рост выбросов пришелся на углекислый газ, метан и закись азота; в первую очередь это выбросы CO<sub>2</sub> в энергетическом секторе, выросшие в 4,4 раза с 1950 г.

Очевидно, уже сейчас переход от использования ископаемого топлива на использование возобновляемых источников энергии является мировой тенденцией развития климатически нейтрального будущего.

Директивой ЕС о возобновляемой энергии от 2018 года установлена цель к 2030 году достичь долю ВИЭ в конечном потреблении топливно-энергетических ресурсов 32 %, а при производстве электроэнергии 50 %.

**В долгосрочной стратегии ЕС по переходу к климатически нейтральной Европе** к 2050 году заложена цель получать более 60 % всей энергии с использованием ВИЭ и более 80 % всей электроэнергии – из ВИЭ. Однако этого недостаточно для выполнения Парижского соглашения. Необходима радикальная трансформация в энергосистеме, зданиях, на транспорте, в промышленности, сельском хозяйстве.

В Евросоюзе на сектор теплоснабжения приходится 50 % конечного потребления энергии, из которых 55 % забирают промышленность и сельское хозяйство, а оставшиеся 45 % – сектор «здания».

Кроме того, в конечном потреблении прослеживается быстрый рост систем охлаждения. Теплоснабжение изначально основывалось на использовании ископаемого топлива, на него приходится 39 % выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Много тепловой энергии теряется в зданиях с низкой энергоэффективностью, из-за неэффективных устройств и в промышленных процессах. Поэтому энергоэффективность и переход к использованию ВИЭ в теплоснабжении рассматриваются нераздельно.

Так, к примеру, тепловые насосы эффективнее работают в энергоэффективных зданиях. В этом секторе используются такие инструменты, как энергоэффективные сертификаты, охватывающие и энергоэффективность и теплоснабжение с использованием ВИЭ.

В новой **директиве ЕС по возобновляемой энергетике 2018/2021/EU** заложен посыл перехода к децентрализованной энергетической системе с целью мобилизации частных инвестиций, повышения ответственности на местном уровне и, тем самым, вовлечения граждан в энергетический переход. Впервые законодательно введены термины «ВИЭ для собственного потребления» и «ВИЭ для населения». Потребителю предоставлено право отключиться от неэффективных энергетических сетей, использовать энергию от третьей стороны, произведенную из ВИЭ.

Развитие возобновляемой энергетики в Республике Беларусь осуществляется в рамках действующего законодательства, в том числе:

- Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 8 января 2015 г.;

- Закона Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии» от 27 декабря 2010 г.;

- Директивы Президента Республики Беларусь «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» от 14 июня 2007 года №3 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 26 января 2016 г. № 26);

- Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь от 23 декабря 2015;

- Государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 годы;

- Указа Президента Республики Беларусь от 24 сентября 2019г. № 357 «О возобновляемых источниках энергии».



Департаментом в рамках своей компетенции и законодательства **проводится планомерная и последовательная работа для достижения Цели устойчивого развития № 7 «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех».**

На следующий пятилетний период утверждена Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы предусматривающая достижение доли ВИЭ в валовом потреблении ТЭР на уровне 8 % и снижение энергоемкости ВВП на 7 % к уровню 2020 года.

При этом основной прирост ВИЭ в предстоящий пятилетний период в объеме около 450 тыс. т у.т. будет обеспечен за счет увеличения использования биомассы, в основном топливной щепы организациями жилищно-коммунального хозяйства.

Эффект в предотвращение изменения климата от реализации Государственной программы «Энергосбережение» в 2016–2020 годах составил 7,3 млн т. CO<sub>2</sub>, а в 2006–2015 годы 21,8 млн т CO<sub>2</sub> или 30 млн. т CO<sub>2</sub> за последние 15 лет.

В балансе возобновляемых источников энергии на биомассу приходится 86 % – сюда входят древесные отходы (44 %), топливная щепа (18,2 %), дрова 16,1 %, пеллеты 8,4 %. На щелока приходится 10,1 % и на ВИЭ (ветер, вода, солнце) 3,2 %.

По состоянию на 01.07.2021 в Республике Беларусь действовало 509 МВт установленной электрической мощности установок ВИЭ (солнце 32,3 %, ветер 21,3 %, ГЭС 18,8 %, биомасса 19,7 %, биогаз 7,5 %) что почти в пять раз превышает этот же показатель шестилетней давности – 88 МВт на 01.01.2014, а к 2024 году установленная электрическая мощность составит 715 МВт. С учетом экологического и экономического факторов использование энергии биогаза и строительство биогазовых комплексов, это самая перспективная технология для Республики Беларусь.

Биогазовая технология в результате биопереработки отходов ферм крупного рогатого скота, свинокомплексов и птицефабрик, отходов пищевых производств обеспечивает:

1) получение экологически чистых органических удобрений, лишенных патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, семян сорняков, нитритов и нитратов, специфических запахов;

2) улучшение усваиваемости удобрений и повышения урожайности за счет минерализованных фосфора, калия и других биогенных микроэлементов;

3) эффективное развитие органического земледелия в Республике Беларусь;

4) устойчивое энергообеспечение производств. Стабильность производства электроэнергии из биогаза в течение года позволяет покрывать пиковые нагрузки в сети, в том числе и в случае использования нестабильных ВИЭ, например, солнечных и ветровых электростанций.

В мире возобновляемая энергия развивается весьма активно. Технологии использования ветра и солнца уже конкурируют с использованием природного газа и инвестиции в возобновляемую энергетику в три раза превысили таковые в новую электрогенерацию на природном газе и угле.

Солнечная энергия развивается быстрее, чем предполагали еще несколько лет назад. В США объемы выработки энергии из энергии солнца возросли за последние 10 лет в 100 раз. Себестоимость производства электроэнергии с использованием энергии солнца в мире упала до 2–3 центов за киловатт-час.

По информации IRENA последние аукционы и соглашения о покупке электроэнергии указывают, что цены на электроэнергию, производимую солнечными электростанциями составляет 0,039 долл. США/ кВт\*ч в проектах, реализуемых в 2021 году, что на 42 % меньше по сравнению с 2019 годом. Издержки на производство электроэнергии в солнечной энергетике продолжают падать, и каких-либо признаков ослабления данной тенденции не наблюдается.

в 30 странах установленная мощность ВИЭ достигает более 10 ГВт и в 90 странах более 1 ГВт (**у Республики Беларусь 0,4 ГВт**);

у 9 стран в структуре выработки электроэнергии на солнце и ветре приходится более 20 % (**в Республике Беларусь 1 %**).

Совместно с Международным агентством по возобновляемой энергии (ИРЭНА) Департаментом по энергоэффективности Госстандарта и республиканскими органами государственного управления, общественными организациями в 2020–2021 годах подготовлен обзор «Оценка готовности Беларуси к использованию возобновляемых источников энергии» (далее – Обзор).

В Обзоре проведен анализ потенциала Беларуси по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, в том числе в контексте анализа состояния и перспектив использования других видов топливно-энергетических ресурсов (нефть, газ, атомная энергия, другие). Выполнение рекомендаций, включенных в Обзор будет способствовать повышению имиджа Республики Беларусь в мире, привлечению кредитных и грантовых средств для реализации инвестиционных проектов и проектов международной технической помощи и выполнению цели устойчивого развития №7 «Недорогая и чистая энергия для всех».

IRENA сформулированы следующие рекомендации по совершенствованию развития использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в стране:

- пересмотр целей по ВИЭ в Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь;

- усовершенствование системы квотирования ВИЭ и переход к аукционам;

- разработка и принятие закона о теплоснабжении;

- оценка потенциала биомассы (технологий по переработке биомассы и отходов в энергию) и геотермальной энергии;

- принятие электросетевых стандартов по интеграции энергии солнца и ветра в энергосистему;

- усовершенствование механизмов снижения рисков для инвестиций в ВИЭ;

- стандартизация соглашений о закупке электроэнергии;

- учет электроэнергии для собственных нужд предприятий и организаций в национальной статистике.

Запуск Обзора состоялся 29 июля 2021 года в формате on-line.

Полная версия Обзора на английском языке и краткий перевод рекомендаций для Беларуси на русском языке доступны на сайте Департамента по энергоэффективности Госстандарта. Полная версия Обзора на русском языке будет подготовлена в ноябре 2021 года и размещена на сайте Департамента.

11–12 октября 2021 года ИРЭНА проведен для Республики Беларусь семинар «Создание потенциала для внедрения системы аукционов на возобновляемые источники энергии в Беларуси».

На семинаре рассмотрены вопросы:

- подготовки документации, требований к участникам аукционов;

- процесс выбора победителей и заключения контрактов;

обеспечения наименьшей цены, реализации контрактов в срок; интеграции изменчивых возобновляемых источников энергии (ветра и солнца) в энергосистему, другие вопросы.

Предполагается, что при переходе на проведение аукционов по строительству установок ВИЭ в Республике Беларусь государство (облисполкомы) будет определять непосредственные площадки для строительства установок ВИЭ, в том числе на пострадавших от Чернобыльской АЭС территориях, с учетом создания новых рабочих мест и развития указанных регионов.

Планируется, что государство (Минэнерго) будет определять тип и мощность установок с учетом наличия сетевой инфраструктуры, а также графики выдачи мощности электроэнергии с учетом ввода в эксплуатацию АЭС, в том числе требования по внедрению накопителей электроэнергии.

Инвестор, предложивший наименьший тариф на продажу электроэнергии энергоснабжающей организации, будет определяться в режиме on-line по результатам проведения торгов на товарно-сырьевой бирже. Оплату услуг товарно-сырьевой биржи планируется осуществить за счет средств участников аукционов (инвесторов), подавших заявки на участие в конкурсе строительства установок ВИЭ.

Такая система обеспечит всем претендентам равные условия и будет способствовать привлечению крупных мировых инвесторов, в том числе производителей оборудования установок ВИЭ, обеспечит приобретение энергоснабжающими организациями электроэнергии по наименьшей цене.

Департамент по энергоэффективности считает, что перспективными современными технологиями для продвижения в Беларуси в ближайшее время станут:

устойчивая автоматизация, компьютеризация и роботизация технологических процессов в секторах экономики;

термореновация общественных зданий, зданий в жилищном секторе, строительство энергоэффективных зданий с использованием возобновляемых источников энергии для энергообеспечения;

создание накопителей энергии (электрической и тепловой) и интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему с использованием цифровизации;

электромобильность и создание инфраструктуры для электро-транспорта;

повторное использование отходов и энергоэффективность.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор,  
Прищепов М.С., д.т.н., доцент, Заяц Е.М., д.т.н., профессор,  
Веремейчик Л.А., д.с.-х.н., профессор,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ШКОЛ  
АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА  
УНИВЕРСИТЕТА**

На кафедрах агроэнергетического факультета в течение последних 50–60 гг. прошлого столетия сложилось несколько научных школ, внесших существенный вклад в развитие учебно-методического и научного агроинженерного образования университета.

Некоторые из них близки к распаду и их возрождение проблематично по ряду причин объективного и субъективного характера по кадровому составу и интеллектуальному потенциалу научных направлений.

Другие, в целом, более-менее, дееспособны и перспективны, но требуют к себе пристального внимания и развития, в основном, в организационно-материальном отношении и поддержки на общеуниверситетском и государственном уровнях.

Однако как только вопрос о поддержке и развитии научных школ ставится в практической плоскости, возникают кроме названных проблем в идентификации школ, что есть выработка эталонных представлений (качественных, количественных и структурных), которые позволяют сравнивать их с научными коллективами других типов, так и между собой.

При этом речь идет о многообразии и значимости полученных результатов, и прогнозировании их развития и совершенствования (деформации научных исследований), что связано в значительной эволюции самого феномена «научная школа» с точки зрения значимости, их вклада в агроэнергетику в целом и с учетом требований государственных приоритетов, оценки научных направлений в республике и в агропромышленном комплексе, в частности.

Сложность такой идентификации и диагностики ее функций заключается в осознании научного сообщества, как университета, так и республики в целом в путях и дальнейших направлениях развития (дорожных карты) учебно-научного и воспитательного процесса в высшей школе.

Принципы идентификации научной школы связаны как минимум со следующими типами этих научных структур:

- 1) научно-образовательная структура университета в целом;
- 2) научная школа как институционализированный коллектив (лаборатории разного уровня на кафедре, отраслевой научный центр, научно-исследовательский институт в университете);
- 3) научная школа – научное направление;
- 4) органическая связка кафедр факультета по интеллектуалу и опыту смежных кафедр, как университета, так и коллективов других вузов и НИИ Республики Беларусь и других стран, в первую очередь стран евразийского сотрудничества и др.

Объективные результаты научных школ факультета за последние 50 представлены в таблице 1.

Таким образом, представленная система требований связана, с одной стороны, с терминологическим многообразием самого понятия сущности «научная школа», а с другой стороны – с устоявшимся мнением, что любая более или менее зарекомендовавшая себя в научном мире исследовательская структура может быть отнесена к понятию «научная школа».

Большинство науковедов считает, что научная школа имеет ряд атрибутивных признаков:

1. Наличие авторитетного научного лидера, ученого с качествами генератора идей и учителя (наставника, «играющего тренера»).
2. Наличие у лидера новой «прорывной идеи» высоко наукоемкого уровня и научной программы ее перспективной реализации.

Таблица 1. Научные школы АЭФ в период 1970–2020 г.

| № п/п | Научная школа                                               | Научный руководитель                                             | Созданная научно-методическая база | Защита диссертаций |      | Интеллектуальная собственность |            |                | Реализ. а про-из. условиях |      |     | Сохран. интел-лекту-ал. потен-ция ла в БГАТУ, РБ |
|-------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|------|--------------------------------|------------|----------------|----------------------------|------|-----|--------------------------------------------------|
|       |                                                             |                                                                  |                                    | д.н.               | к.н. | авт. свид., патен-ты           | монографии | расч. методики | ЛО                         | ОО   | СП  |                                                  |
| 1     | Пленочный электрон-агрег                                    | Кудрявцев И.Ф., д.т.н., Герасимович Л.С., д.т.н., академик       | НИЛ ПЭН кафедры примен. эл. эн     | 2                  | 12   | > 90                           | 4          | 4              | 18                         | >10  | 2   | 2 д.т.н.<br>9 к.т.н.                             |
| 2     | Тепличная мало-объемная технология на суб-стратах           | Герасимович Л.С., д.т.н., академик<br>Веремейчик Л.А., д.с.-х.н. | Отрасл. НИЦ теп-личного овощ-ва    | 1                  | 3    | > 15                           | 3          | 3              | 3                          | 2    | >20 | 1 д.т.н.<br>1 д.с.-х.н.<br>3 к.т.н.              |
| 3     | Электротехно-логическая обработка кормов и мате-риалов      | Карасенко В.А., к.т.н.,<br>Заяц Е.М., д.т.н.                     | НИЛ кафед-ры эл. техно-логии       | 2                  | 10   | > 100                          | 6          | 12             | 12                         | > 10 | –   | 1 д.т.н.<br>6 к.т.н.                             |
| 4     | Сило-вые транс-форматоры 10/0,4 кВ с сим-метр. устрой-ством | Сердешнов А.П. к.т.н.<br>Янукович Г.И. к.т.н.                    | НИЛ кафед-ры эл. снабж.            | –                  | 7    | > 70                           | 2          | 7              | 7                          | 7    | 2   | 2 к.т.н.                                         |
| 5     | СВЧ-влажо-метрия                                            | Бензарь В.К. к.т.н.                                              | СВЧ НИЛ                            | –                  | 3    |                                | 2          |                |                            |      |     | 2 к.т.н.                                         |

ЛО – лабораторный образец

ОО – опытно-производственный образец

СП – освоено серийное производство

3. Наличие особой творческой среды в научных коллективах и условий для научного поиска (высокая мотивация, систематические научные семинары для постановки, обсуждения и решения фундаментальных научных и прикладных проблем).

4. Поощрение и формирование условий для инициативы, креативности и самостоятельности мышления в научном коллективе школы.

5. Наличие в школе молодой смены – магистранты, аспиранты, стажеры, студенты, работающие по проблематике научной школы и использующие ее результаты в проектах с научным уклоном.

6. Стабильность в подготовке молодых ученых высшей квалификации (кандидатов и докторов наук), обеспечивающих высокую продуктивность научной школы и преемственность поколения.

7. Значимость научных результатов, способствующих дальнейшему развитию агроэнергетики, определяемых участием в различных государственных программах научных исследований и конкурсах на получение грантов, включая межгосударственные.

8. Публикационная активность, особенно в средствах информации, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь и ...

9. Участие в организации и выполнении хоздоговорных работ, как эталон практической реализации прикладных исследований по проблемам научной школы.

10. Поступательное развитие научной школы немыслимо без наличия лабораторной базы и современного научно-исследовательского инструментария, коллективного пользования и соответствующего финансирования, аккумулированного как в структуре «научной школы», так и особенно в НИЧ вуза.

11. Материальная и морально-этическая поддержка всех сотрудников творческого коллектива научной школы, особенно – обязательное требование к руководству, как университета, так и кафедры, обеспечивающее действенную оценку и поощрение сотрудников творческого коллектива научной школы в развитии университета, включая бальную систему оценки кафедры и факультета в целом, распределение премиального фонда и другие меры морально-материального поощрения.



Ретроспективный анализ результатов творческих коллективов, научных и практических НИР дает представление о научных школах факультета в период 1970–2020 гг., представленных в таблице.

Цели и перспективы возрождения и создания новых научных школ на факультете следует связывать, в первую очередь, со следующими важнейшими факторами инновационного развития:

- утвержденными в Республике Беларусь приоритетными направлениями научных исследований, с учетом многофакторного моделирования и энерготехнологических процессов и установок с разработкой и использованием наследованных и оригинальных пакетов ПВ;

- более полного использования имеющего интеллектуального потенциала ученых и педагогов кафедр с учетом их более весомой материально-моральной поддержки в повышении значимости вклада в общий учебно-научный и методический процессы образовательного процесса в университете;

- органичная связь и совместное исследование с другими научными организациями республики и других стран, ЕАЭС, а также иностранных государств;

- организация сквозной системы студенческой науки в учебном процессе, курсовом и дипломном проектировании, выявление и всемерная поддержка элиты агроэнергетической науки и интеллектуального потенциала университета.

Наконец, важнейшим условием является изыскание финансовых средств для обновления и создания новой материальной базы и исследовательского инструментария, включая современные комплексы вычислительно-измерительной и экспериментальной базы, включая необходимые отчисления из фондов государственного финансирования и хозяйственной тематики.

Для этого необходимо, в конечном итоге, перепроектирование всего учебно-научного процесса и осознанная потребность всего коллектива кафедр факультета и руководства университета в целом.

Дорогу осилит идущий!

Список использованных источников

1. Герасимович Л.С. Системный анализ агроэнергетики: курс лекций / Л.С. Герасимович. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 136 с.

2. Энергоэффективность аграрного производства / В.Г. Гусанов (и др.). Нац. акад. наук Беларуси. Отд. агр. наук, Ин-т Экономики. Ин-т энергетики; под общ. ред. акад. В.Г. Гусанова и Л.С. Герасимовича. – Мн.: Беларус. навука, 2011. – 776 с.

3. Гулай А.В. Архитектура интеллектуальных систем: учен. пособие / А.В. Гулай, В.М. Зайцев – Мн.: ИВЦ Минфина, 2018. – 367 с.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор кафедры ЭСХП  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь  
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Повышение эффективности производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии было и остается одной из важнейших проблем современной энергетики. В круг вопросов этой проблемы входят и такие составляющие как снижение потерь электрической энергии, повышение качества энергии и надежность функционирования питающих и распределительных сетей. В ряде исследований, касающихся данного вопроса, обращается внимание на то, что появилась возможность оценки факторов, влияющих на эффективность электроснабжения, в более полном объеме в связи с созданием интеллектуальных сетей, что позволяет делать более обстоятельные выводы. В подобном аспекте выполнено исследование, результаты которого опубликованы в [1]. Приведем некоторые информационные материалы данной публикации и их анализ, связывая ряд технических и экономических показателей.

В [1] приведен перечень промышленно развитых стран, в которых потери электрической энергии составляют 4–7 % в сетях всех напряжений, причем отмечено, что в странах с высоким валовым внутренним продуктом (ВВП) удельное электропотребление  $W_{уд}$  в тысячах кВт·ч на человека выше, чем в странах с низким ВВП, о чем свидетельствует информация, представленная на рисунке в виде полученного уравнения корреляционной связи между удельными значениями  $ВВП_{уд}$  на годовом интервале от удельного электропотребления  $W_{уд}$  в расчете на одного жителя по ряду стран. Зависимость получена в упрощенном виде как линейная:

$$ВВП_{уд} = 5,5 W_{уд} \quad (1)$$

По приведенной на рисунке информации можно сделать следующие выводы:

- в странах с невысоким уровнем ВВП (менее 20 тыс. дол. на человека в год) низкие значения имеет и удельное электропотребление  $W_{уд}$ , что обусловлено невысоким уровнем электрификации и автоматизации производственных процессов;

- в странах со средним и близким к высокому уровню ВВП (более 20 тыс. дол. на человека в год) имеет место существенный рост  $W_{уд}$ ; подобный факт характерен для всех рассматриваемых стран, в частности Германии, Франции, Нидерландов, Австрии, Японии, Италии и других;

- рассматриваемые показатели отличаются в США, где  $ВВП_{уд}$  и  $W_{уд}$  имеют более высокие значения, чем в названных выше странах, причем корреляционная связь в виде зависимости (1) недействительна, в связи с чем приведенный в (1) коэффициент 5,5 следует снизить до величины 4,2. Причиной такого факта является скорее всего то, что с ростом удельного электропотребления в расчете на единицу ВВП все большее значение начинает приобретать интеллектуальная составляющая, доля которой выше, чем степень автоматизации производств, цифровизации экономики и других областей деятельности, требующих менее высоких энергозатрат в сравнении с затратами энергии в материальном производстве. В таких условиях сокращение любой из составляющих затрат на электрообеспечение приводит к росту ВВП, а при росте и  $W_{уд}$  обе координаты точек, представленных на рисунке, перемещаясь вправо и вверх обеспечивают переход, например, характеристики для РБ из зоны  $ВВП < 20$  тыс. дол. в зону  $> 20$  тыс. дол.

Подобный результат свидетельствует о том, что вырос не только ВВП в расчете на человека в год, но и объем электропотребления в тыс. кВт·ч на человека в год. Подобное обстоятельство означает не увеличение расхода электроэнергии на единицу продукции, а увеличение электровооруженности труда, что является основной целью модернизации схем электроснабжения, совершенствуя все влияющие показатели, в том числе и потери в сетях, которые обусловлены не только ростом (или снижением) нагрузок, но и изменением формы графиков. Наиболее приемлемой формой, как уже неоднократно было показано ранее, является ровная.

Вторым важным показателем энергетической эффективности является индекс надежности электроснабжения, определение которого без наличия средств автоматизации энергоучета и контроля нерационально в оперативном плане. По данным [1] в энергообъединениях СНГ значение индекса надежности находится в диапазоне 0,996. За рубежом нормативы надежности, отвечающие современному состоянию энергетики достаточно высоки: в США – 0,9997, во Франции – 0,9997, Нидерландах – 0,9995, в Ирландии – 0,9991. Если перевести эти показатели в число часов, в течение которых отсутствует напряжение на шинах электроприемников в течение года, то получим

$$\Delta t_{\text{год}} = 8760 (1 - 0,9997 \div 0,9991) = 2,628 \div 7,88 \text{ часа/год.}$$

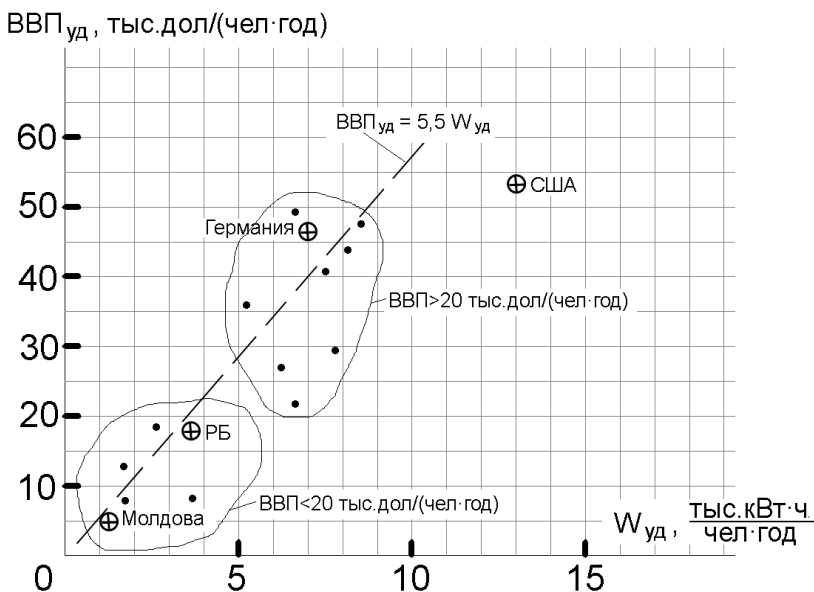


Рисунок 1 – Зависимость удельных значений валового внутреннего продукта на годовом интервале от удельного электропотребления в расчете на одного жителя.

Полученные значения  $\Delta t_{\text{год}}$  означают, что напряжение из-за перебоев различной длительности может отсутствовать в течение года от 2,7 до 7,9 часов.

В [1] предложена расчетная формула, по которой можно определить значение капиталовложений при переходе на более высокий уровень надежности:

$$K_{\text{доп}} = K \left( \frac{\lg P}{\lg P_{\text{жел}}} \right)^{\alpha} \quad (2)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – дополнительные капиталовложения для достижения желаемого уровня надежности  $P_{\text{жел}}$ ,  $K$  – капитальные затраты, при которых обеспечивается индекс надежности, равный  $P$ ,  $\alpha$  – показатель степени значением более единицы.

Из (2) следует, что при  $P = 0,996$  и  $P_{\text{жел}} = 0,9998$   $K_{\text{жел}} = K \cdot 1,9^{\alpha}$ , т.е. требуется увеличение затрат не менее чем в 1,9 раза (при  $\alpha=1$ ). В [1] полагается, что подобное увеличение затрат необходимо для сооружения дополнительных источников генерации, что не может быть рациональным при достаточной (а то и избыточной) мощности генерации на низком уровне надежности распределительных сетей. Обеспечение величины  $P_{\text{жел}}$  на питающих шинах распределительных сетей и в точках разделения балансовой принадлежности сети (источник-потребитель) наиболее рационально путем внедрения источников распределенной генерации, используемых в основном как резервные [2, 3] и обеспечивающие адресную надежность конкретных потребителей соответствующей категории. Затраты на обеспечение адресной надежности при этом существенно ниже, так как требования надежности потребителей всей зоны неодинаковы, а доля потребителей первой категории намного ниже, чем доля потребителей второй и третьей категории. Заметим, что рассмотренные в [2, 3] способы обеспечения надежности, связанные с использованием источников распределенной генерации, требуют совершенствования систем энергоучета, контроля и управления нагрузками, так как в данном случае оценка нагрузок и других переменных должна быть оперативной во всех узлах сети от генерации до каждого индивидуального потребителя, причем эти требования распространяются как на узлы коммерческого, так как в данном случае решаются и задачи определения потерь в сетях по каждому элементу.

#### Список использованных источников

1. Жежеленко И.В. Основные направления повышения эффективности производства, передачи и распределения электрической

энергии// Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – т. 61. №1. – 2018. – С. 28–35.

2. Забелло Е.П. Обеспечение адресной надежности потребителей электроэнергии// Энергетическая стратегия. – 2021. – №3. С. 33–36.

3. Забелло Е.П. К вопросу об интеграции объектов распределенной генерации в энергосистему//Энергетическая стратегия. – 2019. – №3. – С. 24–28.

**Заяц Е.М., д.т.н., профессор**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ЭВОЛЮЦИЯ ФАКТОРОВ ОБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ**  
**ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ**

Продукты сельскохозяйственного производства растительного и животного происхождения (овощные и фруктовые соки, молочная сыворотка, растворы для выращивания микроорганизмов, различного рода сточные воды, влажные и увлажненные корма и др.) с определенной условностью можно назвать органическими дисперсными гидросистемами (ОГС).

С целью повышения эффективности использования питательного потенциала, интенсификации извлечения или образования полезных веществ, обеззараживания и очистки ОГС подвергают различным видам обработки – механической, тепловой, химической, комплексной.

Применительно к электротермохимическому изменению свойств ОГС действующими факторами обработки являются формы энергии, в которые преобразуется электрическая энергия в процессе поглощения ее веществом, подвергаемому воздействию.

Известно, что электрическая энергия, трансформируясь в веществе, преобразуется в тепловую, химическую, механическую и другие формы энергии, оказывая соответственно тепловое, химическое, электрокинетическое, комплексное или другое действие. Интерес представляет эволюция действующих факторов по мере развития технологий обработки ОГС.

На начальном этапе развития электрообработки наиболее широко использовали тепловое действие электрической энергии. Обрабатываемый материал размещали между токоподводящими электродами и пропускали через него электрический ток, достигая ту или иную температуру. Разработаны соответствующие технологии делигнификации соломы, клейстеризации крахмала фуражного зерна и кормового картофеля, снижения вязкости мелассы. Электротепловая обработка снижала конечную температуру нагрева, повышала равномерность и скорость тепловыделений, существенно повышала глубину изменений в продукте и порождало свои недостатки: высокая энергоемкость, сложность 3-х фазного подвода тока, наличие электродов, загромождающих зону обработки и загрязняющих материал продуктами коррозии. Попытки использовать химическое действие переменного тока не принесли желаемый результат.

Последующие способы обработки отказались от 3-х фазного переменного тока в пользу постоянного. Это усилило электрохимическое действие электроэнергии, снизило в 2...3 раза температуру обработки и энергоемкость процессов. Разработаны технологии клейстеризации крахмала фуражного зерна, коагуляции белков картофельного сока и молочной сыворотки, основанные на электролизе, главным образом воды, входящей в состав обрабатываемого материала. По-прежнему оставался недостаток – токоподводящие электроды и появился новый недостаток – необходимость преобразователя 3-х фазного тока в постоянный ток мощностью до 10...12 кВт/(т·ч) обрабатываемого материала.

Разработки сегодняшних дней исключили токоподводящие электроды в отдельных способах обработки. Направленное движение электрически заряженных частиц создает поток воздуха, проходящий через обрабатываемый материал. Это могут быть отрицательно или положительно заряженные молекулы воздуха или другого газа, химических добавок, вносимых в газ, а с ним и в обрабатываемый материал. Предварительные опыты показывают заметное снижение мощности источников питания и энергоемкости процессов до величин, которые даже можно не учитывать в экономических расчетах из-за их малости.

Разумеется, что каждый из названных факторов – электротепловой, электрохимический, электрокинетический и их сочетание име-

ет свою предпочтительную область применения, обусловленную целью обработки ОГС.

**Гируцкий И.И., д.т.н., доцент,  
Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Грищенко А.Б.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
РОБОТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Эпоха механизации производства была связана с непрерывным увеличением единичной мощности оборудования. Это обусловлено необходимостью повышения производительности труда человека, осуществляющего управление средствами механизации. Увеличение единичной мощности оборудования, как правило, сопровождается ростом его металло- и энергоемкости. Развитие возможностей математического моделирования и их реализации на базе современных средств компьютеризированного управления позволяет принципиально изменить подходу к выбору параметров технологического оборудования сельскохозяйственного производства. Исключение не только физических, но и интеллектуальных возможностей человека при реализации технологических и производственных процессов – основное направление современной науки и техники.

Industrie 4.0, или четвертая промышленная революция, идет сегодня, набирает обороты и заключается в развитии робототехники, дальнейшей цифровизации экономики и автоматизации производства и сферы услуг, расширении применения безлюдных технологий и искусственного интеллекта. Но осуществить этот переход возможно лишь при наличии высококвалифицированных инженерных кадров и программистов.

Автоматизация в сельскохозяйственном производстве часто более сложная, нежели в промышленности. Это связано с взаимодействием с биологическими объектами, что вызывает необходимость одновременного контроля по нескольким параметрам, причем разным по своей физической величине и требует повышения надежности системы. Производственные процессы распределены во време-



ни и пространстве. Многие параметры зависят от случайных факторов. Надежность, адаптивность (гибкость), возможность управления разнородными объектами и построения распределенных многоуровневых систем – вот основные требования, предъявляемые к современным системам управления.

Повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного производства не в малой степени связано с использованием «информационного ресурса», компьютеризацией и роботизацией технологических процессов и установок [1, 2, 3]. Для их реализации идёт внедрение новых информационных технологий управления. Здесь еще нет устоявшейся терминологии, поэтому можно встретить такие определения, как точное, высокотехнологичное или координатное управление, точные технологии в животноводстве, в молочном скотоводстве и т.п. Под «интеллектуальной роботизацией» будем понимать создание новых технологий и оборудования, где функции человека, включая интеллектуальные, экспертные перекладываются на программно-технические средства, создавая возможность реализации «безлюдных» производств. Но при этом суть нововведения сводится к интегрированной информационной системе управления сельскохозяйственными технологиями с целью повышения их эффективности, улучшения количественных и качественных показателей производимой сельскохозяйственной продукции, с учетом индивидуальных особенностей живых организмов и влияния на них параметров окружающей среды, а также минимизацией воздействий этих технологий на окружающую среду. Например, переход от группового кормления и доения коров к индивидуальному, приводит к необходимости увеличения в сотни и тысячи раз объемов получаемой и перерабатываемой информации. Причем постоянное снижение стоимости программно-технических средств построения систем управления делает эффективным расширение сфер их применения.

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 [2]:

1. Определение начала 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.

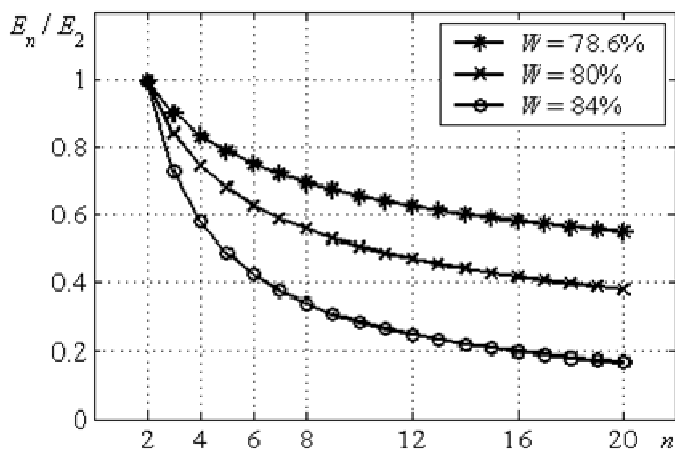


Рисунок 1 – Сокращение энергозатрат на раздачу жидкого корма при увеличении числа кормлений в сутки  $n$ :

$E_2$ ,  $E_n$  – энергозатраты, соответственно, при 2-разовом и  $n$ -разовом кормлении;  
 $W$  – влажность кормосмеси.

Внедрение современных инфокоммуникационных технологий управления, позволяющих исключить обязательное присутствие оператора, может дать трех- и более кратное снижение энергозатрат на раздачу жидкого корма по сравнению с 2-разовым кормлением (рис. 1)

Раздача корма осуществляется до 20 раз за сутки. Снижение разовой дозы выдаваемого корма позволяет существенно, в 2...5 раз, уменьшить объем и металлоемкость смесительных ванн и групповых кормушек. Текущий объем замеса определяется на основании опроса датчиков наличия корма в кормушках и базы данных. Датчики наличия корма работают по принципу электропроводимости [3].

Подобный результат наблюдается и при эксплуатации доильных роботов. Возможность круглосуточного доения коров в два и более раз снижает необходимое число доильных мест по сравнению с доильными залами. Кроме того, возможность доения коров с более длительными интервалами между доениями положительно сказывается и на продуктивности коров [4].

Но роботизация требует создания интеллектуальных средств диагностики состояния животных и оборудования. Так в информационном обеспечении молочного скотоводства актуальной задачей является определение субклинического мастита коров в реальном масштабе времени. Особый интерес и актуальность среди автоматизированных методов диагностики мастита у коров представляет термографический, в силу своей бесконтактности и многофункциональности [5].

Анализ термографических снимков вымени коровы показывает распределенный характер температурного поля. В местах наличия воспалительных процессов температура повышается. Поэтому в качестве информационного параметра была исследована максимальная температура отдельных областей вымени коровы (рис.2). В первой группе были здоровые животные с отрицательной пробой по кенотесту (-); Во второй группе коровы с сомнительной пробой по кенотесту (+); Третья группа включала животных с субклинической стадией мастита (++) , а в четвертой с клинической выраженной стадией мастита (+++).

Взаимное перекрытие кривых распределения температур вымени для различных групп животных можно объяснить биологической природой объекта контроля и влиянием различных возмущающих факторов, таких как стресс, изменение окружающей температуры, период лактации и т.п.

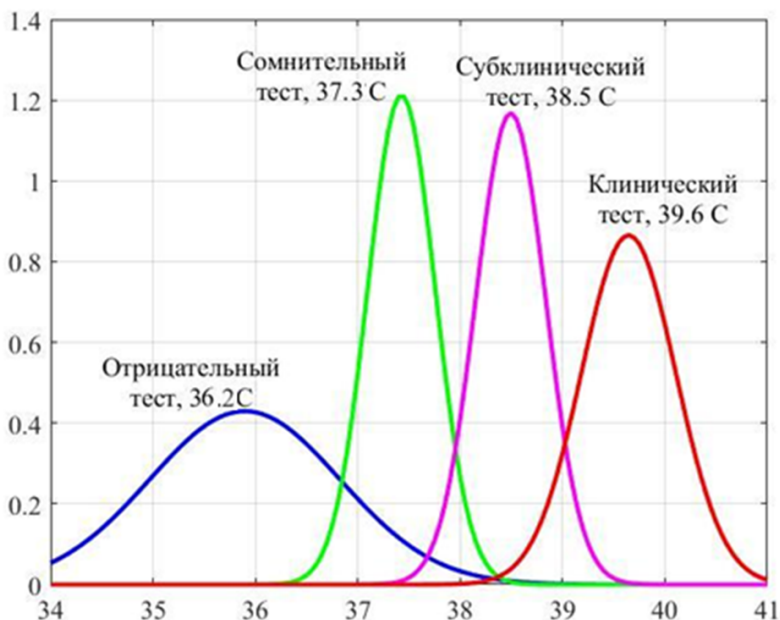


Рисунок 2 – Распределение плотности вероятности максимальной температуры вымени коровы для 4-х групп животных по степени заболевания маститом

Современные технологии интеллектуальной роботизации широко используются и в растениеводстве. Так, использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в земледелии и в целом в сельском хозяйстве – одно из наиболее перспективных направлений применения этой технологии. БЛА есть уже практически во всех крупных хозяйствах. Высокая точность полета, обеспечиваемая за счет GPS-навигации, делает особенно полезным применение БЛА в современном точном земледелии для оперативного мониторинга развития выращиваемых сельскохозяйственных культур, точечного внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР). Такие технологические операции, как внесение удобрений в период весенней распутицы, на местности со сложным рельефом, десикация на поздних стадиях вегетации растений сейчас выполняет в основном авиация [6].

Поддержание оптимальных параметров микроклимата внутри зданий и сооружений является одной из основных задач систем ав-

томатизации современных тепличных комплексов. Комфортные условия для растений должны обеспечиваться даже при резких колебаниях температуры наружного воздуха в ночное и дневное время холодного периода года. При этом важное значение имеет энергоэффективность систем отопления, которая может быть улучшена за счет совершенствования методов автоматического управления. Для этого предлагается использовать данные краткосрочного почасового прогноза погоды, позволяющие с достаточно большой точностью прогнозировать изменения наружной температуры воздуха на сутки вперед [9]. Современные серверы погоды предоставляют в распоряжение пользователей программный интерфейс (англ. application programming interface, API), с помощью которого подключенный к сети Интернет пользователь, т.е., микропроцессорное устройство управления САР, может сформировать программный запрос к серверу погоды и получить от него подробные данные о прогнозе погоды (температура, влажность, скорость ветра, облачность, осадки) на ближайшие сутки [7].

Но новые технологии требуют подготовки соответствующих специалистов. Известная аксиома успеха в век научно-технического прогресса, заключающаяся в решении двуединой задачи – разработке новых технологий и быстрому внедрению их в производство, делает обязательной интеграцию науки (разработка) и образования (обучение грамотному использованию новых технологий). Такой подход требует достаточно сложных и длительных, не только структурных, но и психологических изменений в нашей сложившейся системе практически независимого функционирования науки, образования и производства.

Для учебно-научного процесса агроинженерного университета кардинальные изменения в технологиях управления и робототехники должны сопровождаться адекватным развитием соответствующей лабораторной базы. БГАТУ создана прекрасная программно-техническая база для инновационной подготовки активных специалистов в области построения современных систем управления производством [8]. Темпы перемен зависят от качества подготовки будущих специалистов, которые должны обладать способностью непрерывного обновления собственных знаний и навыков.

#### Список использованных источников

1. Гируцкий, И.И. Энергосберегающий потенциал интеллектуальной раздачи жидких кормов на свиноводческих

комплексах /И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков, Н.М. Матвейчук// Mechanization in agriculture/ Year LX1, ISSN 08`61-9638, issue 10/2015, Bulgaria. – p. 12–14.

2. Гируцкий И.И. Точное управление откормом свиней, [электр] /И.И. Гируцкий// Труды 6-й Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления», ИПУ РАН, Москва, 2007. – С. 508–525.

3. Автоматизированная система для откорма свиней. /И.И. Гируцкий, А.А. ур, С.В. Крылов, В.Ф. Марышев // Патент на полезную модель РБ №7909. Заявл. 15.06.2011; опубл. 28.02.2012.

4. Сеньков, А.Г., Гируцкий И.И., Грищенко А.Б. Математическая модель накопления молока в вымени коровы... / А.Г. Сеньков, И.И. Гируцкий, А.Б. Грищенко // Системный анализ и прикладная информатика, 2019 (1). – С. 9–12.

5. Ivan I. Hirutski, Yuri A. Rakevich, Andrey G. Senkov Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis//IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS AGRICULTURAL MACHINERY, Year V Volume 1/8, 23.06 – 26.06.2021, VARNA, BULGARIA, pp. 48–53.

6. Робот над полем. Растущая потребность АПК в беспилотниках подталкивает ученых на разработку специализированных дронов для сельского хозяйства [Текст] / И. Дашковский, И. Шивков // Агротехника и технологии: ООО "Москоутаймс". – 2017. – №6. – С. 32–35. : цв. ил.

7. Сеньков А.Г. Автоматическое регулирование температуры воздуха в теплице с учетом данных прогноза погоды. Информатика. 2021;18(3):59-67. <https://doi.org/10.37661/1816-Q3Q1-2Q21-18-3-59-67>.

8. Гируцкий, И.И. Подготовка инженеров по автоматизации производства/ И.И. Гируцкий//Материалы 7-й Междунар. конф. «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении», Минск, БНТУ, 2021. – С. 72–73.

## **СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК**

**Александров О.И., к.т.н., доцент, Демьянкова В.С., студ.  
УО «Белорусский государственный технологический  
университет»,  
аспирант Пекарчик О.А.**

**Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь  
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖСИСТЕМНЫХ ПЕРЕТОКОВ  
МОЩНОСТИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ  
ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯХ**

Поскольку энергообъединение (ЭО) представляет собой сложную социально-техническую систему, то ее функционирование происходит в условиях неопределенности, вызванной случайным характером электропотребления, нестационарными процессами перетоков электроэнергии в межсистемных транзитах, возможными погрешностями в настройках системной автоматики и телемеханики. Комплексный подход к этой задаче на основе системного анализа с охватом всех основных определяющих факторов позволил приблизиться к решению данной проблемы по управлению потоками мощности и электроэнергии (ЭЭ). При решении данной задачи преследовались цели:

- определение экономически целесообразных значений межсистемных перетоков энергии;
- снижение расхода топлива на электростанциях ЭО;
- снижение удельных расходов условного топлива на производство электроэнергии;
- снижение потерь активной мощности в ЭО;
- определение экономически обоснованных тарифов на межсистемные перетоки электроэнергии;

*Новый подход* предполагает решение следующих задач:

- Расчет текущих установившихся режимов ЭО с определением оптимальных значений их внутренних межсистемных перетоков.
- Оперативная коррекция режимов с учетом оптимального резерва мощности энергосистем и обработкой отклонений параметров режима.

- Мониторинг и создание базы данных расходных характеристик электростанций и наиболее энергоемких промышленных предприятий с коррекцией ежесуточных значений.

- Оптимизация режимов работы ЭО с учетом текущих ремонтных отключений основного оборудования.

- Определение величины экспортируемой мощности.

*Практическая ценность* работы состоит в возможности:

1. Достаточно оперативно определять межсистемные перетоки мощности с учетом различного рода ограничений, а АФ накладываемых на технические параметры режима работы ЭС и межсистемных ЛЭП.

2. Быстро получить результаты расчета режимов работы ЭЭС и одновременного эквивалентирования расчетной схемы сети, что очень важно в оперативном управлении режимами ЭЭС и определении электрических параметров межсистемных ЛЭП.

3. Определить *экономически обоснованные* тарифы на межсистемные перетоки электроэнергии, которые обеспечивают *экономическую заинтересованность* в обмене энергией между параллельно включенными энергосистемами.

4. Определить и проанализировать основные функции корпоративного управления межсистемным транзитом для стран-участниц общего рынка Таможенного пространства.

5. Определить стратегию для компромиссного планирования двусторонних договоров на поставку электроэнергии.

В процессе решения данной проблемы нами был разработан программный комплекс, позволяющий выполнять решения сформулированных задач. Были проведены расчеты различных максимальных (зимних) и минимальных (летних) сезонных режимов для Белорусского ЭО с учетом работы первого блока Белорусской АЭС во включенном и отключенном состояниях.

В результате выполнения расчетов были получены оптимальные значения параметров основных электростанций Республики Беларусь при различной загрузке и получены оценки для минимальных величинах потерь мощности в высоковольтных сетях.



**Гецман Е.М, ст. преподаватель,  
УО «Белорусский национальный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА  
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Развитие национальной экономики страны направлено на технологичность и информатизацию всех ее отраслей, совершенствование сфер автоматизации и модернизации производств, стремительное внедрение цифровых технологий и «умных» решений в бизнес-процессах. В тоже время имеет место перехода от поэтапной информатизации отдельных функций к цифровой трансформации экономики в целом в рамках республики, так и в рамках Евразийского экономического союза.

Вопросы цифровой трансформации экономики (информатизации) регулируются рядом программных документов и нормативно-правовых актов как Президента Республики Беларусь, так и Совета Министров Республики Беларусь и республиканских органов государственного управления.

Технические решения программы цифрового развития энергетики сегодня можно обозначить следующими важными тенденциями. Первая связана с общей идеей цифровизации, в том числе принципа децентрализованной генерации энергии (например как виртуальные электростанции и хранилища) и цифровой трансформацией. Не выделяя их по значимости и упорядоченности, следует отметить интерес к созданию универсальной энергетической системы с одной стороны, и стремительное развитие распределенной генерации с другой.

В данное время Белорусская энергосистема представляет собой развивающийся, высокоавтоматизированный комплекс электрических станций и сетей, крупную и хорошо организованную модель, которая надежно и стабильно обеспечивает потребителей промышленности, сельского хозяйства и населения страны электрической и тепловой энергией. Согласно содержанию государственных программ предусматривается интеграция информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий во все аспекты деятельности энергетической сферы и

функционирования общества, требующая внесения кардинальных перемен в технологии, стратегии, продукты и т.д. (см. рисунок 1). Для достижения реализации программ в рамках цифровизации должны быть решены следующие ключевые задачи.

- модернизация механизмов отраслевого управления с применением платформенных и кроссплатформенных решений;
  - цифровая трансформация электроэнергетики путём распространения современных информационных технологий, способствующих увеличению производительности труда, повышению качества производимой продукции и оказываемых услуг, расширению рынков сбыта;
  - сокращение издержек на осуществление внутренних и внешних бизнес-процессов организаций энергосистемы (ведение внешнеэкономической деятельности, системы менеджмента качества, кадровой работы, формирование и подача отчетных данных и другое) путем их перевода в электронную форму;
  - внедрение информационных технологий в управление межгосударственными интеграционными процессами;
  - обеспечение безопасности граждан, защиты их данных при использовании информационных технологий за счет применения передовых технических решений (формирование «цифрового доверия»)
- [1].



Рисунок 1 – Концепция цифровизации

В производстве оборудования для энергетики происходит существенное развитие аппаратных и программных средств систем управления:

- появились высоковольтные цифровые оптические трансформаторы тока и напряжения;
- создается первичное и вторичное электросетевое

оборудование со встроенными коммуникационными портами;

- производятся микропроцессорные контроллеры, на базе которых возможно создание надежного программно-аппаратного комплекса подстанции (ПС);

- принят международный стандарт МЭК 61850 «Сети и системы связи на подстанциях» [2], отображающий понятие о данных и элементах подстанции как объекте автоматизации, а также свод правил для организации событийного протокола передачи данных, в том числе протоколы цифрового обмена данными между микропроцессорными интеллектуальными электронными устройствами ПС, включая устройства контроля и управления, релейной защиты и автоматики, противоаварийной автоматики, телемеханики, счетчики электроэнергии и т.д.

Предвидится, что уже в ближайшем будущем цифровизация позволит предприятиям электроэнергетического комплекса страны увеличить прибыль порядка 3–4 % и создаст надежный задел для дальнейшего устойчивого роста.

Введение «умных» устройств в технологическое развитие производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии и тепла окажет влияние на структуру и требования к гарантированной надежности и безопасности работы энергетических систем, которые уже давно приобрели черты современных кибер-физических систем.

Представленное доказывает о том, что белорусские энергетики не переставая выискивают современные способы и средства реконструкции и модернизации объектов электроэнергетики, что больше всего действительно в условиях дефицита денежных ресурсов, снижения издержек и повышения эффективности использования ресурсов и тотальной экономии.

#### Список использованных источников

1. Цифровая трансформация и энергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energypolicy.ru/>. Дата доступа: 03.11.2021.

2. ГОСТ МЭК 61850-3-2005 Сети и системы связи на подстанциях. Часть 3. Основные требования. – М. : Стандартиформ, 2006. – 14 с.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Равинский Н.А.,  
Петрович В.Л., Крупеня В.И.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**СИНТЕЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГИИ  
И СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ (АСДУЭ)**

Интеллектуализация энергетики коснулась всех ее систем, в том числе и системы диспетчерского управления электроснабжения предприятий, традиционными функциями которых являются согласно [1]:

- контроль уровней напряжений, токов, потребляемой мощности, качества электроэнергии;
- наблюдение за положением коммутационного оборудования и правильностью выполнения переключений;
- отображение и архивирование параметров режима;
- коммерческий учет электроэнергии;
- сбор и передача данных в региональные диспетчерские управления (РДУ).

Системы диспетчеризации более высокого уровня имеют в своем распоряжении и дополнительные функции: регистрацию аварий на вводах предприятия, что позволяет предъявлять претензии поставщику электроэнергии и компенсировать потери от простоев, а также технический учет электроэнергии, позволяющий рассчитывать удельные затраты и принимать меры по экономии энергии.

Современные полномасштабные диспетчерские системы способны контролировать динамику энергосхемы предприятия при различных режимах работы отдельных структур предприятия путем измерения качества электроэнергии и регистрации переходных процессов во внутренних сетях предприятия. Это позволяет быстро выявлять причины и виновников нарушений, а также анализировать процессы пуска и останова крупных технологических установок. Некоторые системы способны осуществлять и дистанционное управление коммутационным оборудованием с АРМ оперативно-диспетчерского персонала с реализацией оперативных и технологических блокировок.

При синтезе систем АСДУЭ и АСКУЭ появляется необходимость максимальной информационной обвязки электротехнического оборудования. Это требует сбора большого числа дискретных сигналов и использования большого количества измерительных преобразователей. Проблемы создает и наличие большого парка и типового разнообразия систем и устройств для решения всех задач диспетчеризации.

Подходы к синтезу АСДУЭ и АСКУЭ, изложенные выше и реализованные фирмой НПО «Энергосоюз» на базе предприятий России, в значительной степени повторяют реализованные ранее РУП «Гродноэнерго» проекты автоматизации, включающие как комплексы задач АСДУ, так и полномасштабную АСКУЭ с контролем генерации, передачи и потребления энергии [2]. Многолетний опыт работы специалистов предприятия, средств диспетчерского управления РУП «Гродноэнерго» с разработчиками средств АСКУЭ (БЕЛТЭИ) показал, что интеграция АСДУЭ и АСКУЭ приводит к существенной экономии технических средств (информационное обеспечение и исключение дублирования на всех этапах создания), а также к обеспечению возможности наращивания функций в условиях развития информационных технологий.

На рисунке приведена схема АСДУЭ, реализованной на базе предприятий России фирмой НПФ «Энергосоюз» [1]. Схема включает следующие элементы:

- телеизмерения (ТИ), телесигнализации (ТС), при необходимости - телеуправления (ТУ) с использованием аналоговых (ИП) или цифровых преобразователей (МИП) или информационных терминалов релейной защиты (МП РЗА) и различных устройств связи с объектами (УСО); при необходимости функционал системы может быть дополнен регистрацией аварийных событий и контролем качества электроэнергии (ИК);

- контроллер «БРКУ 2.0» (К), производительность и комплектация контроллера выбирается в зависимости от объема собираемых и выполняемых функций;

- серверную с основным (СО) и резервным (СР) серверами и сервер связи (GPS);

- главный щит управления с экраном пользования (ЭП) и автоматизированные места пользователей (АПМ);

- серверы передачи данных в диспетчерское управление (СП).

Перечисленная выше аппаратура размещается на подстанциях (ПС1, ПС2 и т.д.), в распределительных устройствах (РУ), серверных модулях и щитах управления.

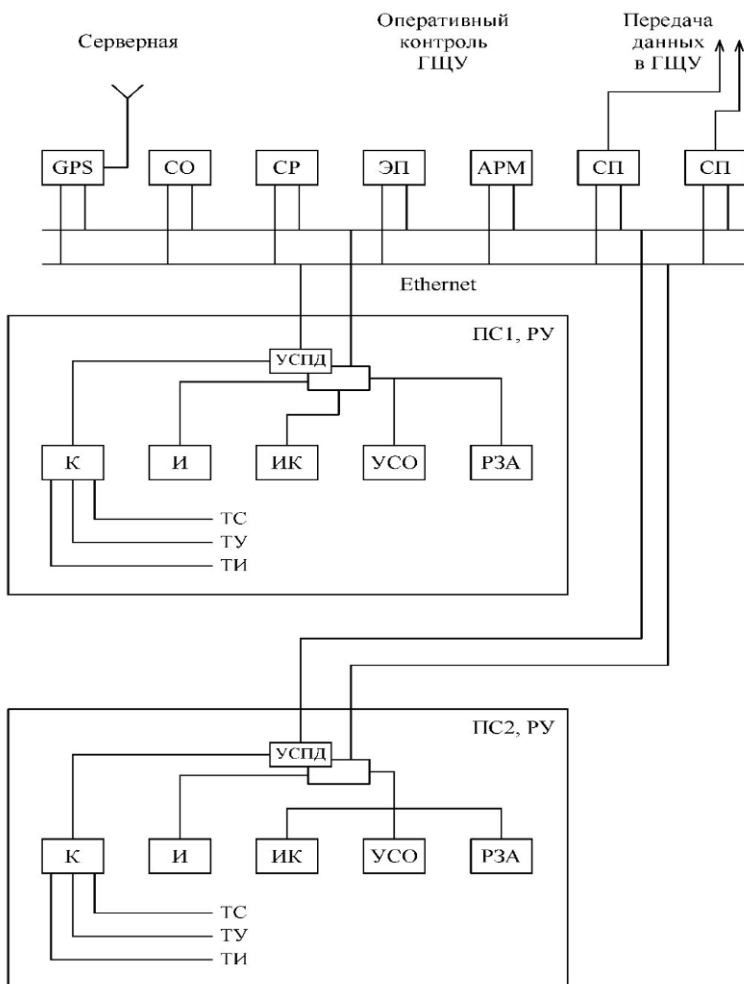


Рисунок – Схема АСДУЭ, реализованной на базе предприятий России фирмой НПФ «Энергосоюз»

Из приведенной на рисунке схемы видно, что она по принципу функционирования и техническому решению аналогична трехуров-

невой схеме АСКУЭ, где первый уровень – это источники информации (ТИ, ТС, ТУ), второй уровень – контроллер (К), (в АСКУЭ – это УСПД со своими функциями сбора информации), третий уровень – главный щит управления с АРМ-ами (в АСКУЭ это локальная или корпоративная вычислительная сеть (ЛВС, КВС)). Из изложенного можно заключить, что с применением средств АСДУ и АСКУЭ в представленном на рисунке виде можно решать задачи только технического учета энергии и анализа ее качества, т.е. без метрологической аттестации как технических средств, так и каналов передачи информации. При использовании подобных схем для сбора и обработки коммерческой информации метрологическая аттестация требуется, однако заметим, что методика, с помощью которой такую аттестацию можно привести, отсутствует. Причина в том, что с применением образцовых средств измерения можно аттестовать элементы непосредственного измерения, в данном случае мы имеем каналы с выходом на экран компьютера, в состав которых входит ряд элементов, каждый со своими показателями погрешности.

В подтверждение того, что ряд функций АСДУЭ и АСКУЭ совместимы и уже реализованы и позволяют оптимизировать сбор сигналов (одно подключение для выполнения всех функций) за счет многофункциональности контроллера, приведем перечень этих функций:

- один вход от ТТ и ТН и результат одного измерения параметра, предназначенный для работы нескольких подсистем;
- отображения данных на АРМах, передача в РДУ, регистрация аварийных событий, технический учет электроэнергии;
- один ввод от источника дискретного сигнала, достаточный для формирования экранной мнемосхемы, сообщения в РДУ, регистрации аварийных событий;
- контроль выполнения команд управления, блокировки переключений.

Подключение к контроллеру сигналов с технологического оборудования обеспечивает выполнение и ряда других задач, позволяя решать задачи технологов, например, определять удельные расходы электроэнергии в различных технологических процессах, упорядочение которых способствует улучшению форм графиков электрических нагрузок на суточных и сезонных интервалах.

#### Список использованных источников

1. Научно-производственная фирма «Энергосоюз». Разработка и производство средств АСУ ТП в электроэнергетике. – 2021. – 27с. – Санкт-Петербург.
2. Предприятие средств диспетчерского и технологического управления РУП «Гродноэнерго». 30 лет со дня образования. – 2021. – 236с. – г. Гродно.

**Зеленькевич А.И., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
КРИТЕРИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ТРАНСФОРМАТОРА**

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1] имеет нулевую группу соединений обмоток, обеспечивает высокую синусоидальность кривых тока нагрузки и напряжения и обладает хорошими симметрирующими свойствами [2].

При изготовлении производители стремятся получить трансформатор с минимальными капитальными затратами, а эксплуатирующие организации стремятся использовать трансформатор с минимальными издержками при эксплуатации, что порождает определенные противоречия. Поэтому при проектировании необходимо получить трансформатор, у которого первоначальные капитальные вложения в сумме с текущими затратами на его эксплуатацию за определенный промежуток времени будут минимальными, что обеспечивает наиболее дешевую трансформацию энергии. В качестве оптимизируемой функции приняты СДЗ, состоящие из капиталовложений на производство трансформатора, издержек на эксплуатацию, включающих стоимость потерь электроэнергии в трансформаторе. В качестве параметров оптимизации приняты плотности токов в первичной и вторичной обмотках, диаметр и высота стержней магнитопровода, величина магнитной индукции в магнитопроводе.



Годовые издержки при эксплуатации трансформатора формируются из амортизационных отчислений  $I_A$ , издержек на обслуживание  $I_O$  и стоимости потерь электроэнергии  $I_{ПЭ}$ :

$$I_{\Sigma} = I_A + I_O + I_{ПЭ},$$

где  $I_A$  – амортизационные отчисления, руб.,

$I_O$  – издержки на обслуживание, руб.,

$I_{ПЭ}$  – стоимость годовых потерь электроэнергии, руб.

Стоимость годовых потерь электроэнергии

$$I_{ПЭ} = \Delta W_T c_{\Sigma},$$

где  $\Delta W_T$  – годовые потери электроэнергии в трансформаторе, кВт·ч/год;

$c_{\Sigma}$  – тариф на электроэнергию, руб./(кВт·ч).

Годовые потери электроэнергии равны:

$$\Delta W_T = (P_K + k_{\Sigma} Q_K) \left( \frac{S_{\max}}{S_H} \right)^2 \tau_{\Sigma} + (P_X + k_{\Sigma} Q_X) t_X,$$

где  $P_K$  – потери короткого замыкания, кВт;

$P_X$  – потери холостого хода, кВт;

$k_{\Sigma}$  – экономический эквивалент, показывающий величину активной мощности, необходимой для производства и распределения единицы реактивной мощности, о.е.;

$Q_K$  – реактивная составляющая мощности короткого замыкания трансформатора, кВ·Ар;

$S_{\max}$  – максимальная загрузка трансформатора, кВ·А;

$S_H$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$\tau_{\Sigma}$  – время максимальных потерь, ч/год;

$t_X$  – продолжительность работы трансформатора за год, ч/год.

Величина капиталовложений на изготовление трансформатора для различных вариантов расчета в наибольшей степени определяется стоимостью активной части. Поэтому для упрощения

расчета ограничимся учетом капиталовложений только на активную часть трансформатора, которые равны:

$$K = K_{\text{из.пр.}} \cdot 3_{\text{М}} (G_1 + G_2) + K_{\text{изг.ст.}} \cdot K_{\text{отх}} \cdot 3_{\text{СТ}} (G_{\text{Я}} + G_{\text{С}}) + 3_{\text{масл}} \cdot G_{\text{м.б}} ,$$

где  $K_{\text{из.пр.}}$  – коэффициент, учитывающий стоимость изоляционных материалов и стоимость изготовления обмотки, о.е.;

$3_{\text{М}}$  – стоимость обмоточного провода, руб./кг;

$G_1, G_2$  – масса обмоток, соответственно, высшего и низшего напряжений, кг;

$K_{\text{изг.ст.}}$  – коэффициент, учитывающий стоимость изготовления магнитопровода, о.е.;

$K_{\text{отх}}$  – коэффициент, учитывающий отходы при раскрое стали, о.е.;

$3_{\text{СТ}}$  – стоимость электротехнической стали, руб./кг;

$G_{\text{Я}}, G_{\text{С}}$  – масса ярм и стержней магнитопровода, кг.

$3_{\text{масл}}$  – стоимость трансформаторного масла, руб./кг;

$G_{\text{м.б}}$  – масса масла в баке, кг.

Тогда, совокупные дисконтированные затраты:

$$СДЗ = K + (I_{\text{ПЭ}} - I_{\text{А}}) \alpha_T ,$$

где  $\alpha_T$  – дисконтирующий множитель.

Трансформатор будет наилучшим, если он выполнен с параметрами, обеспечивающими наименьшие СДЗ за расчетный период, т.е.

$$СДЗ \rightarrow \min .$$

Конструктивные размеры трансформатора, соответствующие наименьшим СДЗ, будут являться оптимальными.

Список использованной литературы

1. 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.

2. Прищепов, М.А. Перспективный силовой трансформатор с улучшенными характеристиками для сельских электрических сетей / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 355–366.

**УДК 629.123: 665.61**

**Дронченко В.А., к.т.н.; Семенов В.И., к.т.н.**

**Полоцкий государственный университет  
СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ОКСИДОВ АЗОТА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ**

В настоящее время проблема защиты окружающей среды от вредных выбросов, образующихся при использовании ископаемого топлива, в том числе и природного газа, привлекает внимание не только ученых, но и всей мировой общественности [1, 2]. Ежегодные выбросы основных токсичных веществ составляют (млн тонн): оксида углерода – 300, оксидов азота – 50 [1].

Котельные установки, которые имеют многие предприятия агропромышленного комплекса, относятся как к крупным потребителям топливно-энергетических ресурсов, так и к крупным источникам выбросов загрязняющих веществ [1]. За эти выбросы предприятия производят уплату экологического налога. Согласно Налоговому кодексу Республики Беларусь (Особенная часть) от 29 декабря 2009 г. № 71-3 [52] (с учетом изменений и дополнений) ставки экологического налога за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух суммарно за 1 тонну веществ составляют (BYN): второго класса опасности – 826,95; третьего класса опасности – 273,34; четвертого класса опасности – 135,84 [136].

На рисунке 1 (на примере  $\text{NO}_2$ , относящегося к веществам второго класса опасности) представлено изменение экологического налога за выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух за последние 10 лет. Ставка выросла более чем в 6 раз. Это должно мотивировать предприятия на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

В Полоцком государственном университете проведены исследования [1, 3], которые показали, что сокращение времени пребыва-

ния продуктов горения в высокотемпературной зоне топки котла, где наиболее интенсивно происходит образование оксидов азота, приводит к снижению концентрации оксидов азота. Результат был достигнут благодаря уменьшению температуры и длины факела (вследствие повышения влагосодержания сжигаемого топлива).



Рисунок 1. – Размер экологического налога за выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух по годам

Таким образом, добавление к топливу, сжигаемому в котельных установках, мелкодисперсной эмульсии на основе нефтесодержащих отходов предприятий агропромышленного комплекса позволяет не только утилизировать эти вещества, но и снизить концентрацию оксидов азота  $\text{NO}_x$  в дымовых газах.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что при увеличении влагосодержания эмульсии на основе нефтесодержащих отходов, используемой в качестве добавки к топливу котельных, до 10–20 % позволяет снизить концентрацию оксидов азота в дымовых газах на 28–45 % по сравнению со сжиганием обезвоженного топлива [1, 3]. Кроме того экономится до 5 % основного топлива используемого в котельных.

#### Список использованных источников

1. Иванов, В.П. Защита окружающей среды от отработавших водных растворов технических моющих средств / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 160–165.

2. Сигал, И.Я. Очистка промышленных выбросов от оксидов серы и азота / И.Я. Сигал, В.И. Славин, В.В. Шило. – Харьков: Оригинал, 1999. – 142 с.

3. Семенов, В.И. Снижение выбросов оксидов азота при работе котельных установок / В.И. Семенов, В.А. Дронченко // Вестн. Полц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2016. № 3. – С. 186–190.

**УДК 66.013.8**

**Иванов В.П., д.т.н., профессор;**

**Дронченко В.А., к.т.н.**

**Полоцкий государственный университет**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ**

**В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ**

**К ОСНОВНОМУ ТОПЛИВУ КОТЕЛЬНЫХ**

Защита окружающей среды является важным направлением социально-экономической политики Республики Беларусь. Ремонт технологического оборудования связан с образованием нефтесодержащих отходов, которые создают высокую экологическая опасность загрязнения окружающей среды [1]. Доля масел в отходах ремонтного производства агропромышленного комплекса составляет 94 % . Улучшение экологической ситуации определяется необходимостью комплексного решения в части исключения вредного влияния на окружающую среду отработанных масел путем использования их для приготовления товарных продуктов, не требующих высокой степени очистки сырья от механических примесей, а наличие воды в них не является недостатком.

Одним из таких направлений является использование отработанных масел, которые согласно [2] (таблица 1), могут быть использованы в качестве компонентов топлива, в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных.

В Полоцком государственном университете были проведены исследования, которые позволили получить на основе отработанных масел мелкодисперсную эмульсию типа «вода в масле» при помощи ударных волн, генерируемых пневматическим излучателем, с требуемой стабильностью [3, 4]. Эмульсия с содержанием воды 30% может использоваться в качестве товарного продукта, а при содер-

жании воды 40 % – непосредственно в котельных самого предприятия изготовителя эмульсии.

Предприятия при этом не только утилизируют отработанные масла, но и экономят основное топливо, а также снижают выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух и тем самым экономят на выплатах экологических налогов штрафов.

Таблица 1 – Углеводородсодержащие отходы, которые согласно [2] могут быть использованы в качестве компонента топлива

| Код отхода                                   | Наименование отхода                       |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Группа IV Отходы продуктов переработки нефти |                                           |
| А Отходы синтетических и минеральных масел   |                                           |
| 5410202                                      | Масла моторные отработанные               |
| 5410203                                      | Масла дизельные отработанные              |
| 5410205                                      | Масла промышленные отработанные           |
| 5410206                                      | Масла трансмиссионные отработанные        |
| 5410800                                      | Загрязненные мазуты и топливо             |
| 5411200                                      | Масла, загрязненные окалиной и шлаком     |
| 5412300                                      | Смесь нефтепродуктов отработанных         |
| В Отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов    |                                           |
| 5440100                                      | Средства охлаждения и смазки              |
| 5440901                                      | Отходы от моечных машин, содержащие масла |

#### Список использованных источников

1. Дронченко, В.А. Использование отходов ремонтного производства в качестве технологических материалов / В.А. Дронченко // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 126. – С. 116–119.

2. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива : ТКП 17.11-01-2009 (02120). – Введ. 03.03.2009. – Минск : Минприроды, 2009. – 16 с.

3. Иванов, В.П. Утилизация нефтесодержащих отходов сжиганием в паровом котле / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 178–183.

4. Дронченко, В.А. Получение мелкодисперсной эмульсии на основе нефтесодержащих отходов и ее утилизация / В.А. Дронченко // Вестн. БрГТУ. Машиностроение. – 2017. – № 4 (106). – С. 51–54.

**Иванов Д.М., ст. преподаватель, Шихарев А.С., студент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
POWER LINE COMMUNICATION – ПЕРСПЕКТИВНАЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ В ОБНОВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Системы управления, контроля, учета и мониторинга в энергетической системе на современном этапе развития становятся всё более сложными, интеллектуальными и разветвлёнными, что требует большую пропускную способность каналов связи. Интеллектуальная сеть – это новая осмысленная система взглядов на роль технологий в обновлении энергетической инфраструктуры. При разработке данных систем, многие компании разработчики сталкиваются с множеством проблем, связанных с принятием и выбором решений, которые позволили бы экономически эффективно модернизировать инфраструктуру электрических сетей, что позволит перейти на новые интеллектуальные сети. В связи с этим особый интерес проявляется к средствам передачи информации по силовым промышленным и бытовым сетям, так как именно эти сети не требуют значительных затрат в развертывании, а необходимые коммуникации для передачи данных уже есть. Наиболее важную роль в передаче данных по силовым сетям имеет перспективная технология связи по электрическим линиям PLC (Power Line Communication).

Технология PLC – телекоммуникационная технология, базирующаяся на использовании силовых электросетей для высокоскоростного информационного обмена[1]. Данная технология известна давно, фактически она так же стара, как сама энергосистема. Совместно с развитием электрических сетей встал вопрос об организации обмена информации между различным узлами энергосистемы. Первые эксперименты по передаче данных по электрической сети датируются концом 19-го века, а уже в начале 20 века начали работать системы передачи с частотным разделением каналов на высоковольтных линиях, позже данная технология нашла свое применение на средних и низковольтных системах для решения задач телеметрии. Следует отметить, что низкая скорость передачи и слабая помехозащищенность были основными недостатками данной технологии передач, но прогресс не стоит на месте и за последние

20 лет исследования в области технологии PLC набрали силу. Новые виды модуляций дали возможность использовать помехоустойчивые и скоростные модификации стандарта PLC.

Основа PLC – модуляция фазы силовой линии, использование ее как несущей. Варианты модуляции представлены на рисунке 1.

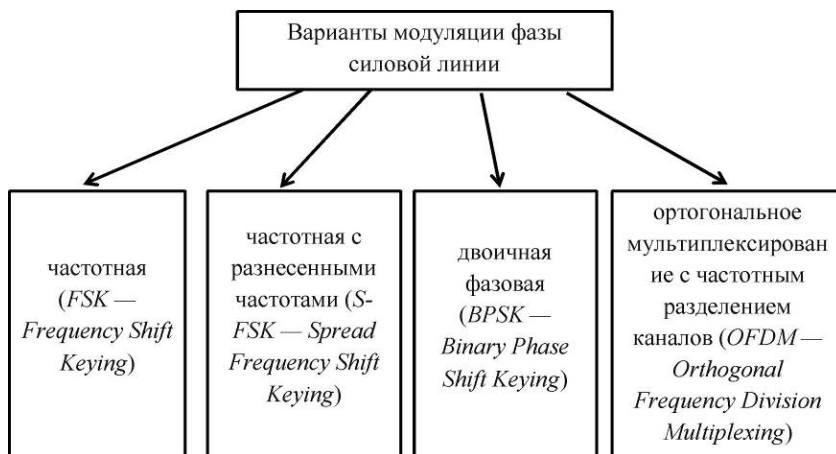


Рисунок – 1 Варианты модуляции фазы силовой линии

Широко используемая модуляция S-FSK была утверждена в 1990-х гг. Данная модуляция обеспечивает приемлемую надёжность передачи массива данных, но имеются существенные недостатки: сравнительно невысокая скорость передачи данных и слабая помехоустойчивость. С появлением более мощных DSP – процессоров (Digital Signal Processor – цифровые сигнальные процессоры) появилась возможность использовать более сложные способы модуляции сигнала, такие как OFDM модуляция[2]. Наибольшее распространение в настоящее время получают спецификации PLC OFDM, предложенные альянсами PRIME и G3, данные виды модуляции являются наиболее скоростными и помехоустойчивыми.

OFDM – метод передачи данных, при котором высокоскоростной поток данных разделяется на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей с последующим объединением данных. Каждая из поднесущих модулируется независимо. Таким образом, данная технология



позволяет формировать передачу данных одновременно по нескольким параллельным каналам[3].

Преимущества OFDM:

- благодаря изменению вида модуляции каждой из поднесущих достигается возможность адаптации к параметрам канала связи;
- некоторые из поднесущих можно отключать, если в этих частотных диапазонах имеются, к примеру, импульсные помехи. Возможности адаптации к параметрам канала и условиям передачи, заложенные в OFDM-методе, обеспечивают его высокую помехоустойчивость и надежность;
- существенное увеличение скорости передачи в сравнении с методами FSK, S-FSK и DCSK, этот вид модуляции становится весьма привлекательным для его использования в узкополосной PLC-технологии.

Следует отметить, что современные автоматизированные системы управления/контроля ориентированы на работу в режиме реального времени, требующем высокой скорости передачи.

На современном этапе технология PLC интегрируется практически везде, где есть силовые сети, она открыла широкие возможности для энергосбытовых компаний, позволив реализовать управление потребителем и обратную связь с потребителем.

Оснащение приборов учета PLC-модемами позволяет:

- упростить фискальность;
- осуществлять сбор статистики по качеству и количеству энергоснабжения с очень точной привязкой ко времени;
- прогнозировать энергопоставки;
- оценивать состояние линий;
- оперативно вмешиваться в текущее состояние, например, осуществлять приоритетное подключение потребителей в аварийных ситуациях;
- снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций за счет «направленной превентивности» в обслуживании линий электропередач.

Подводя итог по вышесказанному, можно с уверенностью сказать, что Powerline Communication (PLC) очень перспективная технология в обновлении энергетической инфраструктуры. Данная технология передачи данных может быть реализована на любом участке линии электроснабжения, так же данная технология широко

применяется в современных автоматизированных системах управления/контроля и домашних сетях. Нет сомнений, что в дальнейшем данная технология будет так же динамично развиваться и может серьезно изменить текущую ситуацию на рынке телекоммуникационных услуг.

Список использованных источников

1. Никифоров, А.В. Технология PLC – телекоммуникации по сетям электропитания // «Сети и системы связи». – 2002. – № 5.
2. Солонина, А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов / Солонина А., Улахович Д., Яковлев Л. – Санкт-Петербург: «БХВ Петербург», 2001. – 464 с.
3. Бакулин, М.Г. Технология OFDM. Учебное пособие для вузов/ М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.М. Шлома, А.П. Шумов // Горячая линия – Телеком, 2017. – 352 с.

**УДК 644.11**

**Коротченко С.Н., Поздняков М.Н.**

**Научный руководитель – Попкова Н.А.**

**Белорусский национальный технический университет**

**г. Минск, Республика Беларусь**

**ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ**

Современное общество живёт в эпоху глобального потепления. Это явление на прямую связано с энергетикой, так как 80 % электроэнергии вырабатывается за счёт сжигания органического топлива (главным образом, уголь, природный газ и нефтепродукты), в результате чего в воздушное пространство попадают двуокись углерода и углекислый газ, повышение концентрации которых атмосфере усугубляет парниковый эффект. Поэтому во всём мире развиваются технологии по использованию альтернативных источников энергии.

Геотермальные (грунтовые) тепловые насосы (ГТН) являются одним из наиболее востребованных установок возобновляемой энергии в мире, с ежегодным увеличением спроса на 10 % за последние 10 лет. Его главное преимущество заключается в том, что он использует естественную температуру грунта или подземных вод

(от 5 до 30 °С). Широкое распространение ГТН нашли в Соединенных Штатах и Европе.

ГТН используют относительно постоянную температуру земли для отопления, охлаждения и горячего водоснабжения домов, школ, государственных и коммерческих зданий. Для работы компрессора требуется небольшое количество потребляемой электроэнергии, однако установка вырабатывает четыре единицы тепловой энергии на каждую единицу потребляемой электроэнергии.

В относительно теплой среде находится трубопровод с теплоносителем большой протяженности. Трубопровод чаще всего замкнутый, а движение теплоносителя обеспечивается насосом. Теплоноситель нагревается до температуры среды (+5 °С или чуть выше). Проходя по первому теплообменнику – испарителю, он отдает тепло находящемуся во втором контуре хладагенту (в большинстве установок используют фреон), температура кипения которого выше -5 °С. До включения установки он находится в жидком состоянии.

По мере поступления тепла от термальных источников, его температура поднимается. Хладагент начинает испаряться, переходит в газообразное состояние со средней температурой порядка 5 °С, затем поступает в компрессор, где происходит сжатие газа. При сжатии выделяется большое количество тепла, и из компрессора газ уже выходит с температурой от 35 °С до 65 °С. Он поступает во второй теплообменник – конденсатор, где отдает тепло теплоносителю, который поступает в контур отопления. Впоследствии отдачи тепла хладагент частично остывает, но все еще находится в газообразном состоянии при повышенном давлении. Он поступает на дроссель, где давление резко падает, хладагент резко охлаждается и сжижается. После чего снова поступает в испаритель, где начинается новый цикл преобразования.

Оценку эффективности использования ГТН проведем на примере Лукомльской ГРЭС. Для этого определим удельную экономию топлива для отпуска тепла от использования ГТН, работающего за счёт потребления электроэнергии, выработанной на рассматриваемой станции, в сравнении с Лукомльской ГРЭС.

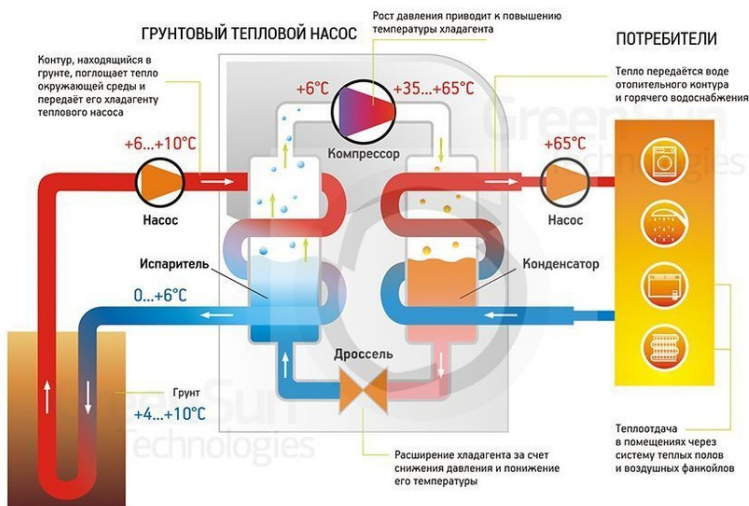


Рисунок 1 – Принцип действия геотермального (грунтового) теплового насоса

Коэффициент трансформации ( $COP$ ) ГТН равен следующему отношению:

$$COP = Q / (W_s \times h), \quad (1)$$

где  $Q$  (Гкал) – количество тепла, вырабатываемое ГТН и ГРЭС;

$W_s$  (МВт $\times$ ч) – количество электроэнергии, потребляемой ГТН;

$h$  – степень термодинамического совершенства ГТН.

Удельный расход топлива для выработки тепловой и электроэнергии на Лукомльской ГРЭС примем  $b_\tau = 200$  кг.у.т./Гкал и  $b_s = 350$  кг.у.т./МВт $\times$ ч соответственно [3].

Выберем ГТН с открытым центробежным компрессором, у которого  $h = 0,85$ ,  $COP = 3,5$ .

$$\begin{aligned} \Delta b &= \frac{B_{ГРЭС} - B_{ГТН}}{Q} = \frac{b_\tau \times Q - b_s \times W_s}{Q} = \\ &= \frac{b_\tau \times Q - b_s \times Q / (COP \times h)}{Q} = b_\tau - \frac{b_s}{COP \times h} = \\ &= 200 - 350 / (3,5 \times 0,85) = 82,35 (\text{кг.у.т./Гкал}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $B_{ГРЭС}$  и  $B_{ГТН}$  – расход топлива для выработки тепла и электроэнергии на ГРЭС.

Из результатов расчёта видно, что при отпуске 1 Гкал с помощью ГТН, расходуется на 82,35 кг.у.т. меньше, чем при выработке такого же количества тепла на Лукомльской ГРЭС, что составляет 41,2 % экономии сырья.

Список использованных источников

1. Curtis R H., 2001. "Earth Energy in the UK." Proc. International Geothermal Days Conference, Bad Urach, Germany, Sept. Also in the Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, Vol 22, No 4, Klamath Falls, Oregon, USA, Dec 2001.

2. Васильев Г.П., Хрустачев Л.В. «Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии»: ОАО "ИНСОЛАРИНВЕСТ".

3. Тепловая защита зданий. СНиП 23-02-2003.

**Кудряшев Г.С., д.т.н., профессор,  
Третьяков А.Н., к.т.н., доцент  
Иркутский государственный аграрный университет  
им. А.А. Ежевского,  
ИННОВАЦИИ ПРИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК**

В настоящее время в электроэнергетике нарастает дефицит мощности и электроэнергии, который пока имеет локальный характер на уровне ряда региональных энергосистем. Это является следствием неравномерных темпов развития экономики различных регионов страны, недостаточных вводов генерирующих мощностей и недостаточных пропускных способностей электрических связей для передачи мощности и электроэнергии из избыточных регионов в дефицитные. В данной ситуации применение инновационных подходов к решению задач по снижению потерь в электроэнергетических системах является актуальным направлением. Только комплексный подход позволит учесть все параметры и режимы работы сети при создании технических средств, для снижения потерь и повышению качества электрической энергии.

Снижение энергоемкости становится в настоящее время доминирующим критерием эффективности ведения сельскохозяйственного производства и рационального использования ресурсов.

Комплексный подход позволил создать модель фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ), позволяющего снизить уровень высших гармоник и реактивной мощности в распределительной сети. Экспериментальные исследования проводились на одном из ведущих предприятий Иркутской области по производству яиц и мяса птицы СХ ОАО «Белореченское». Объект – КТП-1 Т-1, 10/0,4кВ «птичник». Осциллограмма фазного напряжения до и после включения фильтрокомпенсирующего устройства представлена на рисунке 1.

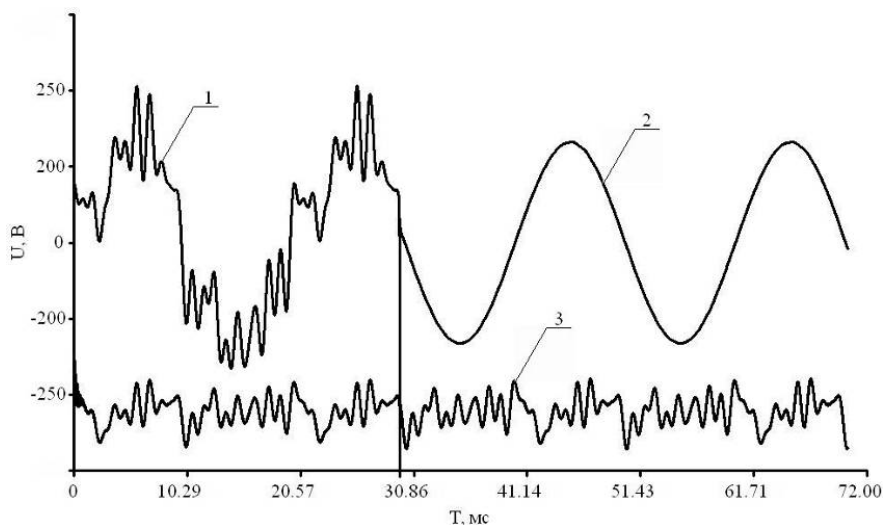


Рисунок 1 – Частотная характеристика сети.

- 1 – реальный сигнал фазного напряжения сети до включения фильтрокомпенсирующего устройства;
- 2 – фазное напряжение сети после включения фильтрокомпенсирующего устройства;
- 3 – сигнал ошибки.

Схема устройства с расчетными параметрами схемы была смоделирована на компьютере с целью проверки корректной работы устройства [1].

Таблица 1

Значение параметров сети при работе ФКУ

| №<br>п/п | Параметр                                                               | До включения<br>ФКУ | После<br>включения<br>ФКУ |
|----------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1        | Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения | 6,4                 | 0,32                      |
| 2        | Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ )                                 | 0,76                | 0,94                      |

Представленные положительные результаты позволили приступить к созданию трехфазного активного фильтра непосредственно для использования в качестве компенсатора высших гармоник в сетях 0,38 кВ СХ ОАО «Белореченское».

Ограничение несинусоидальности напряжения с наибольшей эффективностью может быть достигнуто на стадии проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, но требует дополнительных затрат. Поэтому такое ограничение является технико-экономической проблемой, которую нельзя решать в отрыве от задачи компенсации реактивной мощности. Это объясняется тем, что компенсирующие устройства с емкостными параметрами (например, конденсаторные батареи, фильтры высших гармоник) в сочетании с индуктивным сопротивлением питающей сети могут приводить к резонансу в сети на высокой частоте, и к увеличению отдельных гармоник тока и напряжения [2, 3].

Среднее отклонение превышения нормативных значений коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения от установленных ГОСТом, составляет 0,8 %, а количество случаев превышения нормально допустимых значений составляет 87 %.

В результате проведенных экспериментальных исследований качества электроэнергии и дополнительных потерь мощности в сети 0,38 кВ значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения до 0,3 % и повышение показателей надежности на 27 %.

#### Список использованных источников

1. Активный фильтр высших гармоник с возможностью компенсации реактивной мощности – Пат. 154184 Российская

Федерация, U1 МПК H02J 3/18 / заявитель и патентообладатель ООО «ЦИТ ИрГТУ». – №2014143318/07; заявл. 27.10.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. 23.

2. Кудряшев Г.С. Комплексный подход при ресурсо-энергосбережении на предприятии АПК Иркутской области / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, О.Н. Шпак // Вестник ИрГСХА. – 2016. – №73. – С. 135–140.

3. Кудряшев Г.С. Снижение энергоемкости на предприятиях АПК на примере СХ ОАО «Белореченское» / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, С.В. Батищев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – №2(27). – С 127–131.

**Лешуков А.Г., студент 2 курса магистратуры  
направление подготовки 35.04.06. «Агроинженерия».  
Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева.  
ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ  
ЦИФРОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

Электроэнергетические установки России активно оснащаются новым поколением защитных аппаратов на микропроцессорной основе для предотвращения и минимизации аварийных режимов. Эти аппараты обладают функциями самодиагностики, регистрации всех параметров электроустановки, выбора оптимальных сочетаний защитных свойств, наилучшим образом подходят для контроля работы и защиты самых разнообразных электроустановок.

Для проверки работоспособности устройств релейной защиты, а также проведения занятий со студентами магистратуры по дисциплине «Релейная защита» нами был разработан и изготовлен специальный стенд.

Стенд предназначен для испытания и изучения различных защитных цифровых терминалов, поэтому в его конструкции предусмотрены элементы, необходимые для использования различных моделей защитных аппаратов, предназначенных для сетей 6, 10, 35 кВ. Главной функциональной частью этих приборов являются многоступенчатые максимально-токовые защиты, реагирующие на превышение допустимых токов.



Стенд максимально приспособлен для учебных целей, в его конструкции нет дефицитных комплектующих изделий, а основным логическим блоком в нашем случае является multifunctional terminal "Орион-2".

Для максимальной наглядности, на рисунке 1 показана функциональная блок-схема данного стенда.

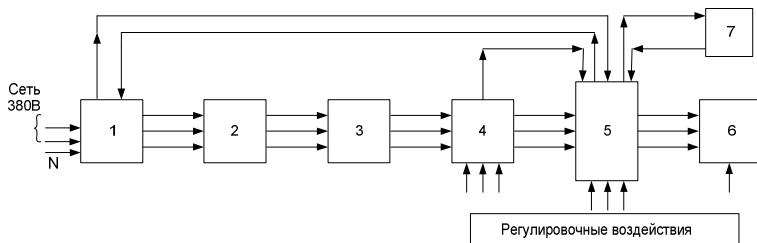


Рисунок 1 – Блок-схема стенда для изучения цифровых релейных защит:

- 1 - Имитатор высоковольтного выключателя (реле РП-12);
- 2 - Блок из 3-х понижающих трансформаторов 220/12 вольт ;
- 3 - Трансформатор тока  $3I_0$ ;
- 4 - Ключи управления несимметричными токами нагрузки;
- 5 - Цифровое защитное устройство (Орион-2);
- 6 - Блок сопротивлений для регулирования симметричных нагрузок;
- 7 - Разъем ввода/вывода информации от внешних защит и сигнализаций.

Главной задачей при разработке стенда было создание в конструкции изучаемого защитного аппарата различных симметричных и несимметричных токовых нагрузок, достаточных для проверки его защитных функций при безопасном уровне напряжения, равном 12 В. Для решения этой задачи на предлагаемом стенде использован блок из трех понижающих трансформаторов с коэффициентом трансформации 220/12 В и регулируемая трехфазная нагрузка с активными сопротивлениями в виде спиралей с максимальным током 5 А.

Несимметрия нагрузок создается отключением одной из фаз. Предусмотрена также возможность несимметрии нагрузок, создаваемых включением однофазных нагрузок.

Управляющим объектом на стенде, моделирующим высоковольтный выключатель защищаемой электроустановки, является промежуточное реле типа РП-12.

В конструкции стенда предусмотрена возможность дальнейшего расширения его функций путем создания и присоединения имею-

щегося комплекса с внешними устройствами, такими как автоматическое включение резерва, логическая защита шин подстанции, резервирование выключателей. Для реализации перечисленных функций в конструкции имеются специальные разъемы, однако необходим как минимум еще один подобный стенд.

Занятия на испытательном стенде должны начинаться после завершения цикла лекций по изучению традиционных электромеханических и цифровых релейных защит. На первых лабораторных занятиях с помощью учебных плакатов и мультимедийных фильмов необходимо изучить структуру, задачи работы, логическую структуру взаимодействия блоков испытываемого защитного аппарата в каждом из его возможных режимов работы, а так же регулировочные органы испытательного стенда. После изучения перечисленного и ответа на контрольные вопросы, студенты могут приступить к лабораторной работе на стенде. Всю работу на стенде логично разделить на этапы:

- просмотр информации, ранее введенной в память аппарата, и уточнение данных, требующих замены;
- ввод пароля для доступа к прибору и возможности изменять данные, при этом необходимые изменения вводятся по указанию преподавателя;
- создание необходимых токовых нагрузок на стенде, достаточных для срабатывания активных защит, и проверка действия защит на отключение выключателя;
- сравнение фактических параметров отключения, оставшихся в памяти прибора, с заданными параметрами и определение погрешностей.

Ввиду большого числа защитных функций, предусмотренных для изучения в представленном стенде, желательно повторить перечисленный выше цикл не менее трех раз по следующие тематике:

- а) настройка и испытание максимально-токовых защит при симметричных режимах нагрузки;
- б) настройка и испытание защит от однофазных замыканий на землю;
- в) настройка и испытание защит от обрыва одной из фаз.

При наличии двух и более подобных испытательных стендов дополнительно можно организовать цикл лабораторных работ по следующим темам:

1. Автоматическое включение резервной электролинии;
2. Резервирование нижестоящего выключателя;
3. Логическая защита шин питающей подстанции.

В организации эффективного процесса обучения важное место занимает использование современного обучающего оборудования, в том числе лабораторных стендов. Это дает возможность студенту на практике проверить и закрепить полученные знания. Разработанный стенд предоставляет широкие возможности по изучению цифровых защитных аппаратов.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,  
Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,  
Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
АЛГОРИТМ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ТРАНСФОРМАТОРА**

Для определения оптимальных параметров трансформатора требуется рассмотрение большого числа вариантов расчета, отличающихся величиной капиталовложений и эксплуатационных издержек, которые зависят от степени загрузки, размеров элементов магнитной и электрической системы. Поэтому параметрами оптимизации являются плотности токов в первичной  $X1$  и вторичной  $X2$  обмотках, определяющие материалоемкость обмоток  $G_{\text{обм}}=G_1+G_2$  и величину потерь короткого замыкания  $P_k$ , диаметр  $X3$  ( $d$ ) и высота  $X4$  ( $L_c$ ) стержней, определяющие материалоемкость магнитопровода  $G_{\text{ст}}=G_c+G_y$  и величину потерь холостого хода  $P_x$ , а также величина магнитной индукции  $X5$  в магнитопроводе. обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».



Для выполнения поставленной задачи была разработана блок-схема алгоритма технико-экономической оптимизации параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1] методом покоординатного поиска, приведенная на рис. 1 и соответственно программа на алгоритмическом языке Pascal.

Так как целевая функция имеет несколько локальных минимумов, то оптимизацию необходимо начинать с различных точек пространства оптимизации, для чего был организован распределенный массив начальных точек оптимизации по всем пяти параметрам, что позволило определить глобальный минимум целевой функции. Для расчета целевой функции оптимизации  $FUN$ , равной СДЗ, использовалась разработанная ранее авторами методика [2] и компьютерная программа расчета конструктивных параметров указанного трансформатора.

Разработанная программа предусматривает расчет оптимальных параметров трансформаторов различной мощности и напряжения с учетом выбора типа и материала применяемого обмоточного провода, марки и толщины пластин электротехнической стали магнитопровода. В программе предусмотрен выбор сечения и габаритных размеров обмоточного провода первичной и вторичной обмотки из введенного в нее массива стандартных значений. Она позволяет определять оптимальные технико-экономические показатели (потери холостого хода и короткого замыкания, капитальные вложения в активную часть трансформатора, амортизационные отчисления, стоимость потерь электроэнергии, совокупные дисконтированные затраты за расчетный период) трансформатора и соответствующие им конструктивные размеры трансформатора.

С использованием разработанной программы на ЭВМ проведены расчеты оптимальных параметров трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» различных мощностей.

#### Список использованной литературы

1. Прищепов, М.А. Перспективный силовой трансформатор с улучшенными характеристиками для сельских электрических сетей

/ М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Энергетическая стратегия. – 2021. – №4(82) – С. 50–53.

2. Прищепов, М.А. Методика расчета конструктивных параметров и технических характеристик трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Агропанорама. – 2020. – N 6. – С. 32–37.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,  
Зеленкевич А.И., ст. преподаватель,  
Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ МАГНИТОПРОВОДА  
ТРАНСФОРМАТОРА**

Задача определения оптимальных параметров магнитопровода трансформатора требует рассмотрение большого числа вариантов расчета, отличающихся величиной капиталовложений и эксплуатационных издержек. С целью решения данной задачи был разработан алгоритм технико-экономической оптимизации параметров магнитопровода трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»  $Y/2Z_n$  [1] методом покоординатного поиска и компьютерная программа [2]. Для расчета целевой функции оптимизации, в качестве которой приняты совокупные дисконтированные затраты (СДЗ), использовалась разработанная ранее авторами методика [3] и компьютерная программа расчета конструктивных параметров указанного трансформатора [4].

Результаты расчета показывают, что с ростом стоимости обмоточного провода  $Z_m$  при действующем в настоящее время тарифе на электроэнергию  $C_e$  оптимальный диаметр стержней  $d$  увеличивается незначительно. Увеличение тарифа на электроэнергию  $C_e$ , при неизменных значениях стоимости обмоточного провода  $Z_m$ , приводит к уменьшению оптимального диаметра стержней  $d$ . При этом уменьшается площадь поперечного

сечения стержней и ярм, а магнитная индукция увеличивается (рисунок 1).

В качестве примера, расчеты оптимальных параметров трансформатора выполнены для трансформатора типа ТМГ мощностью 100 кВА напряжением 10/0,4 кВ с обмотками из алюминиевого провода плоского сечения в зависимости от стоимости обмоточного провода при различных значениях тарифа на электроэнергию, т.е. при существующем тарифе на электроэнергию 0,243 руб./(кВт·ч), а также при более высоких тарифах от 0,4 до 1,0 руб./(кВт·ч). Изменение стоимости обмоточного провода принято в пределах 2–32 руб./кг.

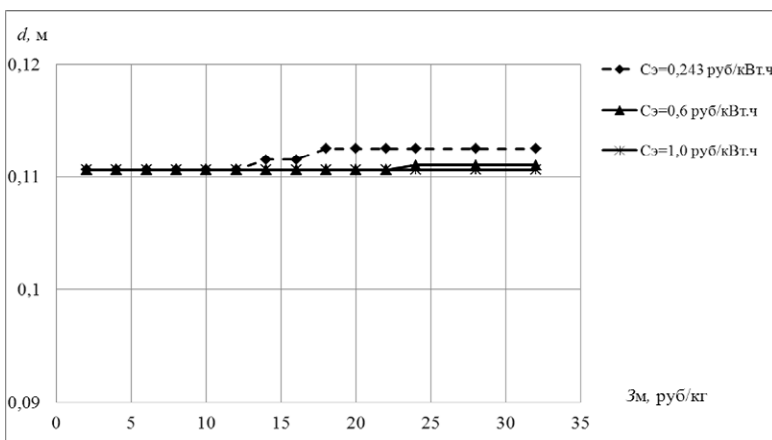


Рисунок 1. Зависимости  $d = f(Z_M)$  для трансформатора типа ТМГ-100/10 со схемой соединения обмоток Y/2Z<sub>н</sub>

Оптимальная высота стержней магнитопровода  $L_c$  незначительно уменьшается с ростом стоимости обмоточного провода  $Z_M$ . Увеличение тарифа на электроэнергию  $C_э$ , при неизменных значениях стоимости обмоточного провода, приводит к незначительному увеличению оптимальной высоты стержней  $L_c$  (рисунок 2).

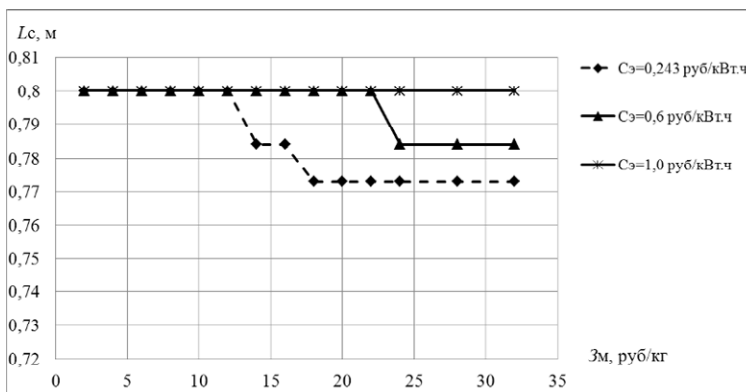


Рисунок 2. Зависимости  $L_c = f(Z_m)$  для трансформатора типа ТМГ-100/10 со схемой соединения обмоток Y/2Z<sub>н</sub>

#### Список использованной литературы

1. Прищепов, М.А. Перспективный силовой трансформатор с улучшенными характеристиками для сельских электрических сетей / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Энергетическая стратегия. – 2021. – №4(82) – С. 50–53.

2. Техничко-экономическая оптимизация конструктивных параметров трехфазного силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: свидетельство о регистрации компьютерной программы №1452 / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга, И.Г. Рутковский; заявитель УО «БГАТУ». – заявл. 02. 09. 2021; дата регистр. 14.10.2021 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. центр інтелектуал. власності. – 2021.

3. Прищепов, М.А. Методика расчета конструктивных параметров и технических характеристик трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Агропанорама. – 2020. – N 6. – С. 32–37.

4. Расчет трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: свидетельство о регистрации компьютерной программы №1370 / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга, И.Г. Рутковский; заявитель УО «БГАТУ». – заявл. 12.11.2020; дата регистр. 21.12.2020 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. центр інтелектуал. власності. – 2020.



**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,  
Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,  
Збродыга В.М., к.т.н., доцент,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕРЬ В ТРАНСФОРМАТОРЕ  
ПРИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
ЕГО ПАРАМЕТРОВ**

Для определения оптимальных параметров трансформатора требуется рассмотрение большого числа вариантов расчета, отличающихся величиной капиталовложений и эксплуатационных издержек, которые зависят от степени загрузки, размеров элементов магнитной и электрической системы, был разработан алгоритм технико-экономической оптимизации параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»  $Y/2Z_n$  [1] методом покоординатного поиска и компьютерная программа [2]. Для расчета целевой функции оптимизации, равной совокупным дисконтированным затратам (СДЗ), использовалась разработанная ранее авторами методика [3] и компьютерная программа расчета конструктивных параметров указанного трансформатора [4].

В качестве примера, расчеты оптимальных параметров трансформатора выполнены для трансформатора типа ТМГ мощностью 100 кВА напряжением 10/0,4 кВ с обмотками из алюминиевого провода плоского сечения в зависимости от стоимости обмоточного провода при различных значениях тарифа на электроэнергию, т.е. при существующем тарифе на электроэнергию 0,243 руб./(кВт·ч), а также при более высоких тарифах от 0,4 до 1,0 руб./(кВт·ч). Изменение стоимости обмоточного провода принято в пределах 2–32 руб./кг.

Характер изменения оптимального значения потерь короткого замыкания  $P_k$  определяется соотношением стоимости обмоточного провода  $З_m$  и тарифа на электроэнергию  $C_э$ . С ростом стоимости обмоточного провода  $З_m$  оптимальные потери короткого замыкания  $P_k$  снижаются при действующем тарифе на электроэнергию  $C_э$ ; при увеличении тарифа  $C_э$  -  $P_k$  увеличиваются (рисунок 1).

Поскольку с ростом стоимости обмоточного провода  $З_M$  несколько увеличивается масса стали  $G_{ст}$ , в том числе и за счет увеличения площади поперечного сечения стержней и ярм, то незначительно возрастают оптимальные потери холостого хода  $P_x$  за счет увеличения удельной нагрузки на магнитную систему. Увеличение тарифа на электроэнергию  $C_э$ , при неизменных значениях стоимости обмоточного провода  $З_M$ , снижает потери холостого хода  $P_x$  (рисунок 2).

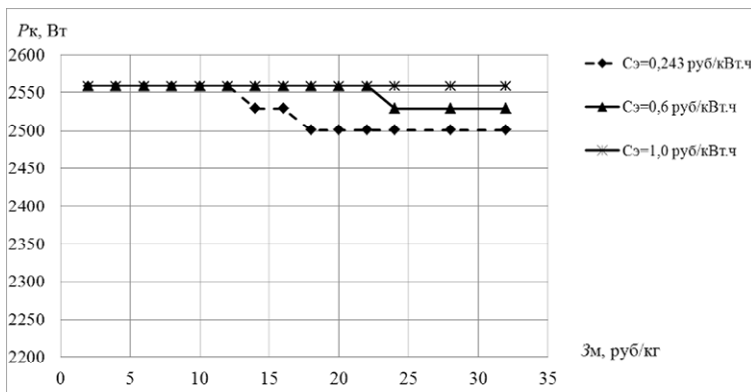


Рисунок 1. Зависимости  $P_k = f(З_M)$  для трансформатора типа ТМГ-100/10 со схемой соединения обмоток Y/2Z<sub>н</sub>

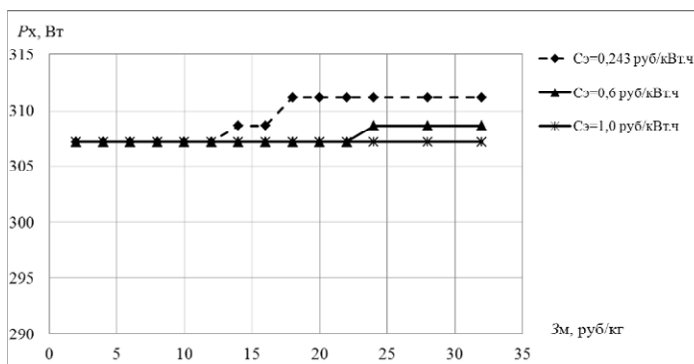


Рисунок 2. Зависимости  $P_x = f(З_M)$  для трансформатора типа ТМГ со схемой соединения обмоток Y/2Z<sub>н</sub>

С ростом стоимости обмоточного провода  $Z_M$  при действующем тарифе на электроэнергию  $C_e$ , вес металла обмоток снижается за счет увеличения плотности токов в обмотках, масса стали магнитопровода незначительно увеличивается, что обуславливает снижение потерь короткого замыкания  $P_k$ , возрастание потерь холостого хода  $P_x$ . Увеличение тарифа на электроэнергию  $C_e$ , при неизменных значениях стоимости обмоточного провода  $Z_M$ , приводит к уменьшению оптимального диаметра стержней магнитопровода. При этом уменьшается площадь поперечного сечения стержней и ярм, а магнитная индукция увеличивается, оптимальная высота стержней незначительно увеличивается, масса обмоточного провода увеличивается, а стали магнитопровода – снижается, что приводит к увеличению потерь короткого замыкания  $P_k$  и снижению потерь холостого хода  $P_x$ .

#### Список использованной литературы

1. Прищепов, М.А. Перспективный силовой трансформатор с улучшенными характеристиками для сельских электрических сетей / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Энергетическая стратегия. – 2021. – №4(82) – С. 50–53.

2. Техничко-економическа оптимизация конструктивных параметров трехфазного силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: свидетельство о регистрации компьютерной программы №1452 / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга, И.Г. Рутковский; заявитель УО «БГАТУ». – заявл. 02. 09. 2021; дата регистр. 14.10.2021 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. центр інтелектуал. власності. – 2021.

3. Прищепов, М.А. Методика расчета конструктивных параметров и технических характеристик трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Агропанорама. – 2020. – N 6. – С. 32–37.

4. Расчет трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: свидетельство о регистрации компьютерной программы №1370 / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга, И.Г. Рутковский; заявитель УО «БГАТУ». – заявл. 12.11.2020; дата регистр. 21. 12. 2020 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. центр інтелектуал. власності. – 2020.

**Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Кулаковский Д.А.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», г. Минск**  
**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ 0,4 кВ**  
**ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ**  
**РАСЦЕПИТЕЛЯМИ**

Одним из показателей надежности защит электрических сетей 0,4 кВ является количество защит, обеспечиваемых данным аппаратом защиты, то есть чем больше перечень аварийных ситуаций в сети, на которые реагируют защитные аппараты, тем надежнее защита. Как правило, в электрических сетях 0,4 кВ установлены автоматические выключатели, которыми в основном реализуется защита от коротких замыканий (КЗ) и токов перегрузки.

К показателям надежности относится и чувствительность этих защит, а так как сельские электрические сети населенных пунктов в большинстве имеют большие длины [1], то чувствительность к токам удаленных КЗ не достаточна для надежной защиты сетей.

Поэтому для повышения надежности защиты сетей необходимо к автоматическому выключателю дополнять второй аппарат защиты, это позволит в случае отказа выключателя выполнения функции защиты от токов КЗ, защиту участка сети, выполнит данный аппарат.

Для разработки данных выключателей необходимо использовать микропроцессорную технику в их расцепителях. Микропроцессорная техника позволит анализировать процессы, протекающие в электрических сетях и на основе анализа обеспечить надежную защиту.

Так широко применяемый выключатель АЗ794С [2], обеспечиваает лишь защиту от токов перегрузки и защиту от токов КЗ с временными вставками для обеспечения селективности, если установить на данный выключатель микропроцессорный расцепитель (МПР), то он будет иметь дополнительные защитные функции, такие как: защита от удаленных КЗ, быстродействующая интегральная защита, защита от КЗ на землю, защита от однофазных замыканий на нулевой провод, защита от возможных перенапряжений у однофазных потребителей. При добавлении той или иной защиты соответствующим образом изменяются формируемые расцепителем времятоковые защитные характеристики.

На рисунке 1 приведены времятоковые защитные характеристики, формируемые аналоговым расцепителем выключателя АЗ794С

(ломаная 1-2-3-4-5-6) и защитные характеристики, формируемые МПР для данного аппарата (ломаная 1-2-7-8-9-10-5-6). Сравнивая времятоковые характеристики можно увидеть их отличия: так в зоне перегрузки МПР реагирует на величину полного тока, а в зоне КЗ на величину тока возмущения сети, что позволяет сделать защиту при токах КЗ более чувствительной и быстродействующей.

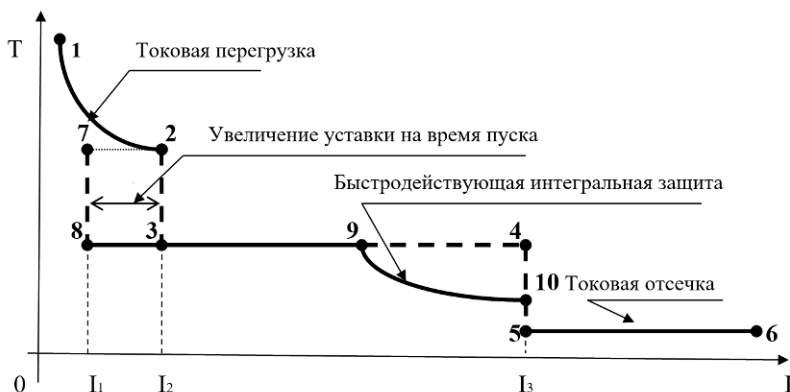


Рисунок 1. Защитные времятоковые характеристики аналоговых расцепителей и микропроцессорных расцепителей:  $I_1$  – токовая уставка удаленного КЗ,  $I_2$  – токовая уставка обеспечивающая запуск ЭД,  $I_3$  – токовая уставка мгновенного отключения.

Для аналогового расцепителя переход от зоны перегрузки к зоне КЗ проходит по одной линии 2-3, а для МПР данный переход зависит от тока возмущения и проходит или по линии 2-3, когда происходит пуск электродвигателей, или по ломаной линии 2-7-8, при удаленном КЗ. Это достигается за счет быстрой идентификации тока возмущения сети, определяя – это ток пусковой или ток удаленного КЗ.

Электрические сети сельскохозяйственного назначения подразделяются на два типа: сети с воздушными линиями и распределенной нагрузкой, электроснабжение населенных пунктов; сети с кабельными линиями и сосредоточенной нагрузкой, электроснабжение сельскохозяйственных комплексов, птицефабрик.

Для воздушных сетей проблема состоит в защите от удаленных КЗ, так как пусковые токи близко расположенных электродвигателей в несколько раз больше тока удаленного КЗ [3]. Выключатели с аналоговыми расцепителями не обеспечивают защиту сетей по всей ее длине, а следовательно, они не отвечают требованиям надежно-

сти. При установке на данные выключатели МПР надежность защиты значительно повышается.

В условиях ограниченных финансовых возможностей такая модернизация сетей более приемлемая, чем полная реконструкция защиты сетей за счет замены установленных в сетях выключателей, на дорогостоящие новые аппараты защиты. Кроме того, модернизация не требует дополнительного секционирования, замены шкафов, что существенно снижает временные и финансовые издержки модернизации сетей 0,4 кВ.

Список используемых источников

1. Протосовицкий, И.В. Повышение надежности сельских электрических сетей 0,38 кВ / И.В. Протосовицкий, Д.А. Кулаковский // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: сборник науч. статей Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–27 ноября 2015 г. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 98–100.

2. Автоматический выключатель АЗ794С [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proenergo.by/elektrotehnicheskaya-produktsiya/silovoe-oborudovanie-zaschity-i-kommutatsii/avtomaticheskie-vyiklyuchateli-serii-a3700>. Дата доступа: 22.11.2021 г.

3. Протосовицкий, И.В. Анализ отказов в сельских распределительных сетях (на примере Витебских электрических сетей) / И.В. Протосовицкий, А.И. Зеленькевич, Д.А. Кулаковский // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–22 ноября 2013 г. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 78–80.

**Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Кулаковский Д.А.,  
Епифанов В.И.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ  
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 кВ**

Главной проблемой при передаче электрической энергии от электростанции к потребителю является потеря ее части в различных элементах электрических сетей, которая негативно влияет на

экономическую составляющую в целом. Поэтому первоочередной задачей любого энергетика является сохранение баланса электроэнергии от ее выработки до конечного потребления с минимальными потерями, а также максимально эффективное использование энергии при производстве продукции (услуг).

Для снижения потерь электроэнергии на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ используются организационные и технические мероприятия.

К наиболее эффективным организационным мероприятиям можно отнести: отключение трансформаторов в режимах малых нагрузок на двухтрансформаторных подстанциях; отключение трансформаторов с сезонной нагрузкой; рациональная организация текущих и капитальных ремонтов, а также технического обслуживания электрооборудования ТП; рациональное проведение диагностики и профилактических испытаний электрооборудования ТП; сокращение расхода электрической энергии на собственные нужды.

Увеличение эффективности использования трансформаторов в условиях эксплуатации возможно за счет отключения одного из двух трансформаторов двухтрансформаторной подстанции. При этом необходимо отключать трансформатор, работающий с наименьшей нагрузкой, и его нагрузку переводить на второй трансформатор.

Практически отключение трансформаторов должно быть согласовано с графиком изменения их нагрузок, стремясь к минимально возможному числу переключений в распределительной сети. Поэтому отключения трансформаторов обычно производят на сравнительно длительный период: на ночь, на выходные дни, на летний период. При этом надо иметь в виду, что для выполнения отключений трансформаторов должна иметься соответствующая коммутационная аппаратура (выключатель нагрузки с моторприводом, элегазовый моноблок, вакуумный выключатель и т.д.). При условии электроснабжения ответственных потребителей в случае отключения одного из трансформаторов должно быть предусмотрено устройство автоматического ввода резерва (АВР) [1].

Предельную мощность нагрузки, при которой целесообразно отключить один из трансформаторов на двухтрансформаторной ТП (в условиях одинаковой мощности трансформаторов) определим по выражению:

$$S_{\text{пр}} = S_{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{\text{xx}}}{\Delta P_{\text{к}}}}. \quad (1)$$

Также могут быть случаи, когда на потребительских ТП 10/0,4 кВ могут быть установлены трансформаторы с неодинаковой мощностью (при  $S_{н2} > S_{н1}$ ). В данном случае предельную мощность нагрузки, при которой:

- целесообразно включить трансформатор большей мощности определим по выражению:

$$S_{пр} = S_{н1} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{xx2} - \Delta P_{xx1}}{\Delta P_{к1} - \alpha^2 \cdot \Delta P_{к2}}}; \quad (2)$$

- целесообразно перейти на работу с двумя трансформаторами:

$$S_{пр} = (S_{н1} + S_{н2}) \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{xx1}}{\Delta P_{к2} \cdot (1 + \alpha^2) - (\Delta P_{к2} - \Delta P_{к1})}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент соотношения мощностей трансформаторов [2].

$$\alpha = \frac{S_{н1}}{S_{н2}}. \quad (4)$$

При расчете соотношения мощностей трансформаторов следует учитывать условия включения трансформаторов на параллельную работу. В частности, нежелательно, чтобы мощности двух параллельно включенных трансформаторов отличались более чем в 3 раза.

В последнее время во множестве агропромышленных организаций присуща низкая загрузка трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ, часто не превышающая 30–40 %. В связи с чем, большая часть потерь электрической энергии в трансформаторах обусловлена потерями холостого хода. В таких случаях целесообразно для однотрансформаторных подстанций заменять недогруженные трансформаторы на трансформаторы меньшей мощности, а на двухтрансформаторных подстанциях – переводить всю нагрузку на один трансформатор с отключением второго со стороны 10 кВ.

Исходя из анализа структуры двухтрансформаторных подстанций, установленных в сельских электрических сетях Республики Беларусь, а также информации по нагрузкам силовых трансформаторов можно реализовать вышеперечисленные мероприятия путем внедрения единой системы автоматизации трансформаторных подстанций, при использовании активно-адаптивной системы управления трансформаторными подстанциями с использованием программных оболочек и микропроцессорных релейных устройств [3].



#### Список используемых источников

1. Денисевич, В.Ю. Способы автоматизации потребительских трансформаторных подстанций сельскохозяйственного назначения напряжением 10/0,4кВ / В.Ю. Денисевич ; науч. рук. Д.А. Кулаковский // Энергетика в АПК : сборник тезисов докладов студенческой научной конференции, Минск, 18–29 мая 2020 г. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 43.

2. Жуковский, А.И. Экономия электроэнергии в системах сельскохозяйственного электроснабжения. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Экономия электроэнергии в системах сельскохозяйственного электроснабжения» для студентов специальности 74 06 05 специализации 74 06 05 04 «Электроснабжение сельского хозяйства». – Мн.: БГАТУ, 2002. – 96 с.

3. Кулаковский, Д.А., Автоматизация потребительских трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ. / Д.А. Кулаковский, О.Е. Татарчук, В.Ю. Денисевич // Сучасний науковий потенціал : матеріали I Міжнародно—науковопрактично—інтернет-конференції—(25 червня 2020 року) : збірник тез. – Бердянськ : БДПУ, 2020. – 45 с.

**Селицкая О.Ю., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет» г. Минск, Республика Беларусь**  
**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 кВ**

Изменение уровня электропотребления в производственной сфере и сельскохозяйственном секторе экономики определяют несколько факторов. С одной стороны, на это влияет изменение объема производства, а также корректировка или совершенствование технологических процессов, с другой – реальное техническое состояние и режимы работы электрических сетей и оборудования станций и подстанций, задействованных в системе передачи электроэнергии потребителям.

Вышеуказанные факторы также напрямую определяют уровень потерь электроэнергии, снижение которых с целью уменьшения расхода используемых топливно-энергетических ресурсов является важной задачей.

В сельских электрических сетях 0,4 кВ потери электроэнергии имеют повышенный уровень вследствие низкой удельной нагрузки по линиям электропередачи, неравномерности режимов электропотребления, повышенной несимметрией фазных нагрузок.

В отличие от высоковольтных сетей, в которых потери электроэнергии с определенной достоверностью можно определить при помощи счетчиков, в сетях низкого напряжения, имеющих сложно разветвленную структуру, это выполнить достаточно сложно.

Известно, что сети напряжением 0,4 кВ имеют условную классификацию на две группы: к первой относятся разветвленные схемы, отходящие от трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ потребительских линий с отпайками разной протяженности и фазности; ко второй – радиально-лучевые схемы, питающие в основном сконцентрированные нагрузки. Для схем первой группы нагрузка одной потребительской линии 0,4 кВ принимается равномерно распределенной вдоль ее фазных проводов, для схем второй группы плотность тока в линии принимается одинаковой по всей ее длине [1].

Как правило, существующие методы расчета основываются на различного рода допущениях о поведении нагрузки и информации о режимах электрической сети, которую условно подразделяют на детерминированную и вероятностную. Соответственно и методы расчеты потерь электроэнергии подразделяются на детерминированные и вероятностно-статистические.

К детерминированным методам относятся такие, при помощи которых на основании расчета определенного характерного режима и соответствующей ему схемы сети определяются потери, считающиеся неизменными за весь расчетный период. К таким методам расчета относятся методы: оперативных расчетов; наибольших потерь; характерных режимов; средних нагрузок.

С учетом того, что на балансе сетевой организации, как правило находится большое количество линий 0,4 кВ. данные о схемах и нагрузках которых часто недостоверные, применяемые методы расчета потерь 0,4 кВ, имеют высокую погрешность полученных результатов. В таком случае для расчета потерь учитывается информация о суммарной длине линий (с градацией количества линий с разными сечениями головных участков) и суммарная электроэнергия, отпускаемая в эти линии.

В том случае, для уточнения расчетов, вводятся коэффициенты, которые несложно определить с учетом объективных данных, а далее выводят зависимость потерь от этих показателей.

К таким коэффициентам относят следующие:

-  $k_p$  – коэффициент, характеризующий характер распределения нагрузок по длине линии;

-  $k_l$  – коэффициент неодинаковости длин линий (разброс относительно  $L_{cp}$ );

-  $k_i$  – коэффициент неодинаковости плотности тока на головных участках линий (непропорциональности распределения суммарной энергии по линиям);

-  $k_{nn}$  – коэффициент неодинаковости нагрузок фаз (несимметрии токов).

Более подробно методика расчетов с учетом вышеизложенного представлена в [2].

При определении потерь в сетях 0,4 кВ также надо учитывать, что практически к каждой линии, запитанной от одной ТП 10/0,4 кВ подключены однородные потребители. В этом случае эффективно применять для расчета метод наибольших потерь, при котором задача определяется в расчете потерь мощности, зная которые, можно определить потери энергии.

Для этого необходимо знать коэффициент перехода от потерь напряжения к потерям мощности  $k_{nm}$  [3]:

$$k_{nm} = \frac{R}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \cos \varphi}; \quad (1)$$

где  $R$  – сопротивление участка сети.

Зная потери мощности в режиме наибольших нагрузок, можно определить потери электроэнергии относительно отпущенной энергии по выражению:

$$\Delta W = \frac{\Delta P_{нб} \tau}{T_{нба}} = \frac{k_{nm} \Delta U_{нб} \tau}{T_{нба}}, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{нб}$  – потери мощности относительно передаваемой мощности;  $T_{нба}$  – продолжительность использования наибольшей активной мощности;  $W$  – энергия, отпущенная потребителям данной линии.

По данным исследований, для оценочных расчетов потерь энергии при неравномерной нагрузке фаз до 10 % коэффициент  $k_{nm} = 0,8$ , при неравномерности более 10 %,  $k_{nm} = 0,6$ .

### Список используемых источников

- 1.Хамидов, А.Х. Потери электроэнергии в низковольтных сетях/ А.Х. Хамидов – Ташкент, Узбекистан, 1984. – 160 с.
- 2.Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю.С. Железко. – Москва: ЭНАС, 2009. – 454 с.
- 3.Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин – 4-е изд., стереотипное. – Москва: Кно Рус, 2014. – 645 с.

**Силюцкий А.С., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ  
ПОНИЖАЮЩЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ  
ПОДСТАНЦИИ 10/0,4кВ В САДОВЫХ ТОВАРИЩЕСТВАХ**

При проектировании и реконструировании электрических сетей, находящихся на балансе садовых товариществ, возникает задача планирования и размещения объектов электроснабжения – кабельных и воздушных линий, трансформаторных подстанций и т.п. Электроснабжение всех дачных домиков, с одной стороны, должно удовлетворять требованиям надежности питания, а с другой – экономически целесообразно организовано.

Вопрос о выборе места фактического размещения понижающей трансформаторной подстанции (ПТП) в нормативных документах для садоводческих товариществ не регламентируется, поскольку отсутствует практическая методика технико-экономического обоснования выбора места для размещения ПТП. Поэтому задача оптимального размещения ПТП на стадии проектирования и реконструирования является актуальной.

Критерием для выбора местоположением ПТП можно принять функцию оптимизации:

$$F(x, y) = x + y; F(x, y) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $x$  – затраты на сооружение сети, руб.;

$y$  – затраты на потери, руб.

Затраты на сооружение определяют: место расположения подстанции, которые включает в себя длину кабельных или воздушных линий и их сечение, мощность понижающего трансформатора, график нагрузки и параметры сети.

Потери энергии зависят от графика нагрузки потребителей, типа трансформатора, длин проводников и их сечений. Выбор сечения проводников по критерию экономической плотности тока в общем случае не отвечает минимуму затрат и требует более точного экономического обоснования. Таким образом, значение функции затрат на сооружение подстанции и потери энергии.

Одним из вариантов решения поставленной задачи – размещение ПТП в центре электрических нагрузок, являющемся по своей сути аналогом центра масс [1-2]. В общем случае это решение не обеспечивает оптимальности. Аналитическое решение рассматриваемого вопроса сложно из-за нерегулярной нагрузки потребителей, изменяющейся в зависимости от времени года. Выбор местоположения, типа, мощности и других параметров понижающей трансформаторной подстанции в основном обуславливается величиной и характером электрических нагрузок, размещением ПТП на генплане. Важно, чтобы ПТП устанавливалась как можно ближе к центру питаемых от нее нагрузок. На практике наиболее распространенными при выборе места расположения подстанции являются методы медиан и центра электрических нагрузок, основанные на принципах, используемых в математике, механике и физике.

*Метод медиан.* Нагрузки представляют собой совокупность точек, лежащих на плоскости. Метод медиан заключается в разбиении этих точек на тройки (вершины треугольника) и нахождении в каждом таком треугольнике точки пересечения медиан. Затем полученные точки пересечения медиан опять выбирают в качестве вершин треугольников и находят точки пересечения медиан. Это продолжается до тех пор, пока не получится единственная точка, которая и будет согласно этому методу оптимальным положением подстанции.

*Метод центра электрических нагрузок.* Центр электрических нагрузок – это геометрическая точка, положение которой характеризует распределение нагрузок (масс в теле или механической системе).

Координаты центра масс определяются формулами:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^k P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^k P_i}; \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^k P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^k P_i}; \quad (2)$$

где  $P_i$  – мощность  $i$ -й нагрузки;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -й нагрузки,  $x_c, y_c$  – координаты центра электрических нагрузок (ПТП).

Считается, что найденные координаты ПТП являются оптимальными с точки зрения экономии на длину и сечение кабельных линий. Но если использовать численные методы нахождения экстремумов функций, то решение поставленной задачи дает более экономичный вариант расположения ПТП.

Одним из методов оптимизации, который может быть использован, является метод сопряженных градиентов. Основным достоинством метода является то, что он решает квадратичную задачу оптимизации за конечное число шагов. Поэтому, сначала описывается метод сопряженных градиентов для оптимизации квадратичного функционала, выводятся итерационные формулы, приводятся оценки скорости сходимости. После этого показывается, как метод сопряженных обобщается для оптимизации произвольного функционала, рассматриваются различные варианты метода, обсуждается сходимость.

Определив длину и стоимость кабельных линий для вышеприведенных методов, было выяснено, что стоимость линий наименьшая при использовании метода сопряженных градиентов. Применение данного метода позволяет проектировать более экономические сети.

На практике найденные координаты могут совпадать с объектами, где расположение ПТП невозможно. Поэтому использование метода центра электрических нагрузок будет неэкономичным из-за вынужденного смещения координат ПТП. В данном случае проектирование наиболее экономичных сетей сводится к решению задачи минимизации затрат с помощью метода сопряженных градиентов с интервалами ограничений. Применение интервалов ограничений позволяет смещать координаты ПТП, при этом точка расположения подстанции будет наиболее экономной.

Подводя итог хотелось отметить следующее: размещение ПТП в центре электрических нагрузок обеспечивает минимум затрат; использование методов оптимизации для поиска координат ПТП целесообразно даже при вынужденном смещении координат ПТП.

Список использованных источников

1. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: РД 34.20.185-94. – М. : РАО ЕЭС Россия, 1994.
2. Гринкруг, М.С. Задача проектирования системы электроснабжения на основе минимизации приведенных затрат / М.С. Гринкруг, С.А. Гордин // Двенадцатая всероссийская научно-техническая конференция. – Томск, 2006.

**Тюнина Е.А., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ**  
**В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Проблема обеспечения качества электрической энергии всегда актуальна, так как убытки от сниженного качества электроэнергии значительны. Снижение качества электроэнергии неблагоприятно влияет как на потребителей, так и на оборудование энергетической системы. Наибольшие проблемы, в том числе и по требуемым материальным затратам, возникают с такой характеристикой качества электроэнергии, как несимметрия напряжений. Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трехфазной электрической сети напряжений обратной или нулевой последовательностей, которые значительно меньше по величине, чем соответствующие составляющие напряжения прямой (основной) последовательности [1].

Несимметрия напряжений, в соответствии с ГОСТ 32144-2013 характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности ( $K_{2U}$ );
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности ( $K_{0U}$ ).

Нормально допустимые значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности в точке общего присоединения к электрическим сетям с номинальным напряжением 0,4 кВ равны 2 %. Предельно допустимые – 4 %.

Установлено, что при загрузке трансформаторов выше 50 % и наличии в структуре нагрузок большого числа однофазных

электроприемников коэффициенты несимметрии превышают допустимые стандартом значения [2].

Одним из способов снижения несимметрии напряжений в электрических сетях является применение симметрирующих устройств, автоматически перераспределяющих токи по фазам равномерно, независимо от величины нагрузки. Это приводит к симметрированию напряжения при несимметричной нагрузке.

Симметрирующее устройство представляет собой магнитопровод с одинаковым числом витков обмоток на каждом стержне.

Определить число витков симметрирующего устройства можно по формуле (1) при рациональной магнитной индукции [2]:

$$W = \frac{U}{4.44 \cdot f \cdot B \cdot \Pi}, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение обмотки, В;

$f$  – частота тока, Гц;

$B$  – магнитная индукция, Тл;

$\Pi$  – активная площадь стержня, м<sup>2</sup>.

Для проведения экспериментальных исследований симметрирующего устройства предлагается собрать схему (рисунок 1). Для этих целей будет использован трансформатор напряжением 400/230 В мощностью 2,5 кВА. К обмотке вторичного напряжения будет подключена нагрузка в виде ползунковых реостатов. В рассечку линии 230 В будет включено симметрирующее устройство.

Токи до симметрирующего устройства и после него измеряются амперметрами  $A_a$ ,  $A_b$  и  $A_c$  и  $A'_a$ ,  $A'_b$  и  $A'_c$ . Напряжения линейные и фазные измеряются вольтметром  $V$  со свободными концами (рисунок 1).

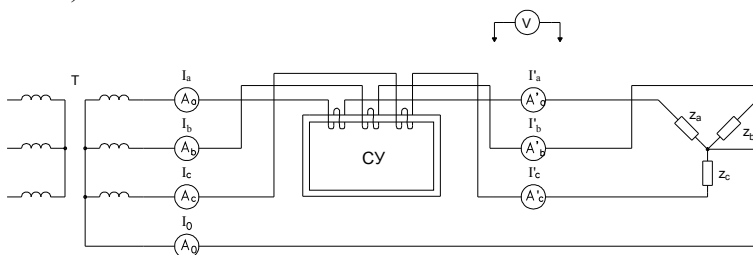


Рисунок 1 – Схема экспериментальных исследований симметрирующего устройства



#### Список использованных источников

1. Янукович Г.И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных установках: монография. – Минск: БГАТУ, 2013.

2. Янукович Г.И., Тюнина Е.А., Збродыга В.М., Королевич Н.Г. О несимметрии напряжений в сельских электрических сетях. Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 26–27 ноября 2015 года). Минск, БГАТУ, 2015.

3. Сердешнов, А.П. Расчет трехфазного трансформатора при наличии магнитопровода. – Мн, БАТУ, 2003.

**Фурсанов М.И., д.т.н., профессор,  
Макаревич В.В., ст. преподаватель,**

**Гецман Е.М., ст. преподаватель,**

**УО «Белорусский национальный технический университет»,**

**Минск, Республика Беларусь**

### **МЕТОДИКА РАСЧЁТА И АНАЛИЗА РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38– 10 КВ С АДАПТАЦИЕЙ К СОВРЕМЕННЫМ УСЛОВИЯМ ФОРМИРОВАНИЯ SMART GRID**

Идея повсеместной цифровизации заключается в создании новой модели энергосети и энергетического рынка, способная отвечать перспективным требованиям. При этом принцип идеи заключается в повышении роли информационных технологий для создания автоматизированных систем поддержки принятия решений.

На данный момент информационная система в стране активно расширяется, налаживаются связи различных баз данных паспортизации электрических сетей, энергосбыта, оперативного управления и др. При этом smart grid предполагает полную наблюдаемость в реальном времени режимов работы всех элементов выработки, передачи и потребления электроэнергии.

Активно идет процесс автоматизации распределительных электрических сетей 0,38–10(6) кВ, который несколько затруднен в силу их большого объема. Однако следует учесть специфику автоматизации электрических сетей 0,38–10 кВ энергосистемы страны:

- практически отсутствие единой технической политики;

- несогласованность разных уровней;
- некомплексность, локальность;
- необоснованное расширение сферы применения реклоузеров.

Функция Smart grid по оперативному реагированию в автоматическом режиме на изменения параметров и конфигурации сети, призванная осуществлять бесперебойное электроснабжение с максимальной экономической эффективностью при снижении влияния человеческого фактора, на сегодняшний день может быть реализована в виде рекомендаций (подсказок) оперативному персоналу электрических сетей.

Первоначально для построения сбалансированной расчётной модели исходных данных необходимо обобщить различные способы учета, сбора и хранения режимной информации, постоянно меняющейся и расширяющейся в современных условиях. Далее следует составить обобщенную модель учёта современных условий (рисунок 1) формирования smart grid при расчётах и анализе режимов распределительных электрических сетей 0,38–10 кВ [1].



Рисунок 1 – Обобщенная модель учёта современных условий формирования

#### 4. Расчет и анализ режимов и потерь в электрической сети.

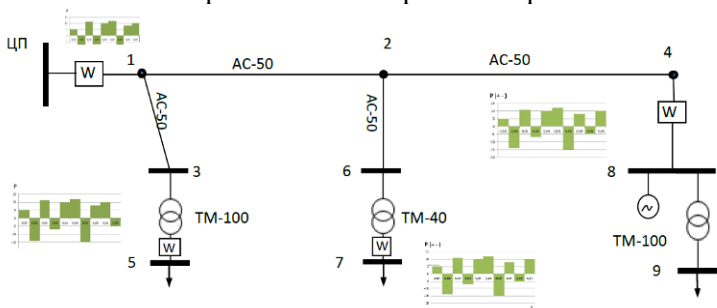


Рисунок 2 – Схема для инновационного расчёта

## Список использованных источников

1. Макаревич В.В. Цифровизация энергетики и проблемы ее развития в распределительных электрических сетях 0,38–10 кВ Республики Беларусь / В.В. Макаревич, Е.М. Гецман // Сборник материалов трудов международной конференции «Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы», 24–25 сентября 2021 г. – Т.: «Voris-nashriyot», 2021. С. 160–163.

## **СЕКЦИЯ 2**

### **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК**

**Болтянська Н.І., к.т.н., доцент, Скляр Р.В., к.т.н., доцент  
Таврический государственный агротехнологический  
университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, Украина**

#### **ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ВОСТОКЕ УКРАИНЫ**

В структуре системы оценивания постоянства страны, предлагаемой зарубежными учеными, энергетика как индикатор составляет 5 % из 17 индикаторов весом от 1 до 10 % [1, 2]. Энергетическая составляющая влияет на постоянство производственно-технологических процессов. Агропромышленный комплекс Украины является одной из бюджетообразующих отраслей экономики страны и не только играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, но и выполняет экспортоформирующую функцию. Учитывая это, стабильность функционирования сельскохозяйственных предприятий АПК приобретает особое значение. Среди проблем аграрного сектора, требующих безотлагательного решения, особое значение имеет надежное обеспечение энергетическими ресурсами и повышение эффективности их использования [3, 4]. Старая модель функционирования отечественного энергорынка негативно влияла на деятельность предприятий, особенно находящихся в сельских местностях, в связи с отсутствием у них возможностей выбора источников энергоснабжения. Кроме того, надежность энергоснабжения в сельской местности существенно ниже, что негативно влияет на хозяйственную деятельность предприятий агропромышленного комплекса, вызывает рост себестоимости продукции и снижение ее конкурентоспособности как на внутреннем рынке, так и на внешних [5].

Альтернативная энергетика призвана способствовать решению прежде всего двух важных проблем – энергоэффективности и экологической безопасности, которые являются одними из наиболее острых именно на Востоке Украины. Одной из особенностей функционирования региональных комплексов Востока Украины есть сохранение лидирующих показателей энергопотребления, что

обусловлено несовершенной структурой промышленного производства, значительный удельный вес в котором принадлежит устаревшим энергозатратным технологиям. Процесс модернизации региональной и национальной экономики может в значительной степени активизировать развитие альтернативной энергетики, обеспечить соблюдение принципов устойчивого развития и высоких мировых экологических стандартов хозяйственной деятельности.

Проблема энергообеспечения остается традиционно актуальной на востоке Украины. Среди традиционных источников – каменный уголь, газ. Приоритеты инновационного развития и структурной перестройки экономики старопромышленных регионов Донбасса предусматривают оптимизацию структуры энергетического баланса региона. В частности, обеспечение уменьшения доли топливно-энергетических ресурсов за счет внедрения энергосберегающих технологий и увеличения доли альтернативной энергетики. В последнее время на востоке Украины можно констатировать активизацию процессов развития альтернативной энергетики, особенно ветровой и солнечной. Крупнейшими предприятиями региона есть Боти́евская ВЭС мощностью 78 МВт (Запорожская обл.) и ООО Ветряный парк Новоазовский – 57,5 МВт (Донецкая обл.), Ветряной парк «Краснодонский» – 425 МВт (Луганская обл.). Учитывая доминирование в регионе угольной отрасли, для которой характерны расходные технологии добычи угля, из-за глубинности пластов, высокой концентрации метана актуальна реализация технологий добычи шахтного метана и использование его в качестве альтернативного источника энергии.

Проблемы развития источников альтернативной энергетики на территории Востока Украины.

*Проблема привлечения инвестиций в производство электроэнергии.* Нетрадиционные технологии требуют больших капиталовложений. С одной стороны, государство из-за налоговых льгот и нулевой ставки для импортного оборудования создает условия для инвесторов. С другой стороны, неурегулированность правовых вопросов (производство солнечной энергии, выделение земельных участков для СЭС и т.д.) стимулируют рост рисков для потенциальных инвесторов.

*Высокая стоимость проектирования и оборудования для освоения альтернативных источников энергии, развития*

альтернативной энергетики. Недостаточная поддержка отечественных предприятий машиностроительной отрасли, ориентированность их выпуска на традиционную группу средств производства обуславливает высокий уровень зависимости развития альтернативной энергетики в Украине от импорта необходимого оборудования.

*Неурегулированность тарифов.* «Зеленый» тариф в Украине достаточно высок, что тормозит процесс развития альтернативной энергетики. Недостаточно развит внутренний рынок потребления энергии, произведенной благодаря привлечению альтернативных технологий. Стоимость продукции альтернативных источников энергии пока существенно превышает стоимость традиционной энергетики и топлива. В этой связи, определенные виды продукции альтернативной энергетики направлены исключительно на экспорт, так как не имеют гарантированного внутреннего рынка сбыта.

#### Список используемых источников

1. Komar A.S. The influence of technological characteristics of the udder of cows on suitability for machine milking / A.S. Komar // Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, – 2021. – Вип. 11, том 1. – 13 с. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2021-vypusk-11-tom-1.pdf>.

2. Manita I., Podashevskaya H. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine. / I. Manita, H. Podashevskaya // Інженерія природокористування. Харків: ХНУСГ, – 2020. – №2(16). – С. 33–37.

3. Manita I.Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector / I.Y. Manita, A.S. Komar // Engineering of nature management. – 2021. – №1(19). pp. – 7–12.

4. Skliar O. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms / O. Skliar, S. Grigorenko // Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. – 2021. – Pp. 255–257.

5. Skliar R. Measures to improve energy efficiency of agricultural production / R. Skliar, O. Skliar // Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France. – 2020. – Pp. 478–480.

**Болтянська Н.І., к.т.н., доцент, Моторін В.А., магістр  
Таврический государственный агротехнологический  
университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, Украина  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В АПК**

По данным Киевского института возобновляемой энергетики, технический потенциал использования возобновляемых источников энергии составляет 81 млн. эквивалентных тонн. Это примерно в 2,5 раза больше, чем сегодняшние объемы производства электроэнергии. Среди основных причин сложившейся ситуации – отсутствие механизма экономического стимулирования при переходе на использование возобновляемой энергетики, в основном нормативно-правовые акты носят декларативный характер в которых не очерчен четкий алгоритм ее внедрения, а также низкая исполнительная дисциплина [1, 2]. По состоянию на 2020 год до 2040 года запланировано до 40 % мировой электроэнергии производить из возобновляемых источников, украинские планы – увеличить процент с 4 % до 25 % к 2035 году [3].

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это совокупность энергоресурсов постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биocenозов растительного и животного происхождения. Одной из особенностей ВИЭ является их неисчерпаемость, другими словами способность восстанавливать свой потенциал за достаточно продолжительный период времени – в пределах срока жизни одного поколения людей. Альтернативные источники энергии – возобновляемые источники энергии, к которым относятся энергия солнечная, ветровая, геотермальная, энергия волн и приливов, гидроэнергия, энергия биомассы, газа из органических отходов, газа канализационноочистных станций, биогазов, и вторичные энергетические ресурсы, к которым относятся газы, газ метан дегазации угольных месторождений, превращение сбросного энергopotенциала технологических процессов [4, 5].

Применение возобновляемой энергии человеком требует наличия технологий использования энергии солнечного света, ветра, морских волн, водных течений, биологических процессов, таких как

анаэробное разложение, биологическая выработка водорода и геотермальных тепловых источников.

В строго физическом смысле, хотя и используется термин «возобновляемая энергетика», энергия в ее источниках не восстанавливается, а только постоянно изымается. Из прибывающей на Землю солнечной энергии лишь очень небольшая часть превращается в другие виды энергии, а большая часть просто отражается в космос. Массовое производство электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии получило огласку только недавно, что отражает основные угрозы изменения климата, опасений исчерпать минеральное топливо, и социальных и политических рисков из-за широкого использования минеральных топлив и атомной энергетики [4, 5].

Бесспорно, проблема экологической безопасности – это, прежде всего:

- социальная проблема, поскольку речь идет о таких последствиях антропогенной деятельности, которые носят ярко выраженный социальный характер и угрожают условиям жизнедеятельности общества;

- естественно-научная проблема, так как она затрагивает существенным образом и во все больших масштабах процессы, протекающие в биосфере;

- производственно-техническая проблема, поскольку она касается производственной деятельности, связанной с отрицательными изменениями в окружающей среде;

- сельскохозяйственная проблема, потому что от ее решения зависит сельскохозяйственное производство (уменьшение деградации земель, борьба с вредителями, повышение урожайности и прочее).

- медицинская проблема, связанная со здоровьем людей;

- проблема военных наук, поскольку она может быть использована как средство военно-политического давления.

С учетом экологического кризиса, дефицита ТЭР, прежде всего газа, мазута и ядерного топлива, одним из стратегических направлений создания независимого, безопасного и надежного ТЭК любой страны, в том числе Украины, является ускоренное развитие



экологически чистой энергетики. Это подразумевает широкомасштабное использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Анализ состояния экономики, географических, геологических, климатологических и других данных свидетельствует, что во многих странах можно широко использовать те или иные нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, включая вторичные энергоресурсы.

Одной из важнейших особенностей развития современного мира является повышенное внимание мирового сообщества к проблемам рациональности и эффективности использования энергоресурсов, внедрению технологий энергосбережения и поиску альтернативных источников энергии.

#### Список используемых источников

1. Skliar O. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms / O. Skliar, S. Grigorenko // Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. – 2021. – Pp. 255–257.

2. Skliar R. Measures to improve energy efficiency of agricultural production / R. Skliar, O. Skliar // Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France. – 2020. – Pp. 478–480.

3. Manita I. Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector / I.Y. Manita, A.S. Komar // Engineering of nature management. – 2021. – №1(19). pp. – 7–12.

4. Manita I., Podashevskaya H. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine. / I. Manita, H. Podashevskaya // Інженерія природокористування. Харків: ХНУСГ, – 2020. – №2(16). – С. 33–37.

5. Komar A. S. The influence of technological characteristics of the udder of cows on suitability for machine milking / A. S. Komar // Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, – 2021. – Вип. 11, том 1. – 13 с. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2021-vypusk-11-tom-1.pdf>.

**Быкова С.Л., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕСАТОРОВ**  
**В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Известно, что современные сложные электронные системы управления и контроля за технологическими процессами, в том числе и в агропромышленном комплексе, оказываются незащищенными в условиях перепада напряжения питающей сети или к ее кратковременным отключениям. Следствие этого – сбои в работе оборудования, выпуск бракованной продукции, серьезные финансовые потери. Одним из способов решения данной проблемы является использование ионисторов (суперконденсаторов).

Ионистор – это электрохимический конденсатор с двойным электрическим слоем на границе раздела электрода и электролита. Его металлические электроды покрыты очень пористым активированным углем. Между этими электродами находится пористый сепаратор, который удерживает электроды друг от друга при наматывании на спираль, пропитанный электролитом. Некоторые инновационные типы ионисторов имеют твердый электролит.

Помимо чрезвычайно высокой емкости, ионисторы обладают свойствами, которые способствуют их широкому применению: большие максимальные токи зарядки и разрядки; малая деградация даже после сотен тысяч циклов заряда/разряда; высокое внутреннее сопротивление у большинства ионисторов, что препятствует быстрому саморазряду, а также перегреву и разрушению; длительный срок службы (при  $0,6 U_{\text{ном}}$  около 40 000 часов с незначительным снижением емкости) [1-4].

В настоящее время ионисторы нашли практическое применение в различных областях энергетики (рис.1).

Одним из интересных использований ионисторов является хранение энергии в динамических тормозных системах в автомобильной промышленности. Электробусы с питанием от ионисторов (капабусы) выпускаются фирмами HyundaiMotor, «Тролза», «Белкоммунмаш», «ЛИАЗ», «НЕФАЗ» и др.



Рисунок 1 – Применение суперконденсаторов в стационарной энергетике

В г. Минске с мая 2017 Белкоммунмаш производит первые белорусские электробусы VitovtMaxElectro, которые способны зарядиться за 5–8 минут и на одном заряде проехать 20 км. Ионисторы производит ООО «Чэндун Синьдзун Шелковый Путь Развития» в китайско-белорусском промышленном парке «Великий камень».

В бытовой электронике ионисторы применяются для основного и резервного питания портативного электронного оборудования, в оборудовании, использующем солнечные элементы, в стартерах для малых и мобильных двигателей, автомобильных видеорегистраторах.

Возможные будущие приложения ионисторов – в сотовых телефонах, ноутбуках, электромобилях и других устройствах, которые в настоящее время работают на батареях. Самым большим преимуществом, с практической точки зрения, является их очень быстрая скорость перезарядки, что дает возможность заряжать электрический автомобиль в зарядном устройстве в течение нескольких минут до полной зарядки аккумулятора.

Ученые и разработчики ионисторов стараются постоянно их модернизировать, повышать удельную емкость, увеличивать стабильность в циклах зарядки-разрядки, уменьшать размеры [2].

Решение данных задач достигается за счет создания и применения новых материалов твёрдых нанокomпозиционных электролитов, пористого объёмного углерода для электродов).

Учёные из Центра нанотехнологий Университета Центральной Флориды (UCF) в 2016 году разработали гибкий ионистор, состоящий из миллионов нанометровых проволок, покрытых оболочкой из двумерных диалкогогенидов. Такой суперконденсатор выдерживает более 30 тысяч циклов зарядки [3].

Российские учёные из Сколковского института науки и технологий (Сколтех) в 2019 году объяснили, смоделировали и описали механизм включения атомов азота в углеродную решётку. Данное исследование открывает путь к созданию гибких тонкопленочных суперконденсаторов на основе углеродных наностенок [4].

Очевидно, что в будущем аккумуляторы практически полностью будут заменены ионисторами.

Список использованных источников

1. H.I. Becker: Low voltage electrolytic capacitor, U.S.-Patent 2800616.
2. [www.Overclockers.ru/hardnews/41793](http://www.Overclockers.ru/hardnews/41793).
3. Journal ACS Nano 12.10.2016.
4. Nikolay V. Suetin, Iskander S. Akhatov, Elena V. Zenova, Alexander A. Pavlov, Sergei V. Vavilov. N-Doped Carbon NanoWalls for Power Sources // Scientific Reports. – 2019-04-30. – Vol. 9, iss. 1. – P. 6716. – ISSN 2045-2322. – doi:10.1038/s41598-019-43001-3.

**Воробьева Е.А., Волкова А.В., ст. преподаватель  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет  
имени Н.В. Парахина», Орел, Россия**

### **ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ**

Энергоснабжение – это одна из основных отраслей, которая отвечает не только за комфорт нашей бытовой жизни, но и за работу различного вида производств, в том числе и сельского хозяйства. Энергоснабжение сельского хозяйства – весьма сложный

и трудоемкий процесс. В общей сложности потребление электричества в сельском хозяйстве чуть выше 50 % от общей доли электропотребления всех производств, топливо – 40 %, а вот тепловая энергия и энергия, выделяемая с помощью газов, едва достигает показателя в 5 % от общей доли производств [1, 5].

Сельскохозяйственные производства, как правило, характеризуются большим количеством небольших помещений, разбросанных на большой территории (административные корпуса, гаражи мастерские, теплицы, загоны для животных и т.п.), что делает процесс энергоснабжения весьма сложным. Также, отличительной особенностью энергопотребления сельского хозяйства заключается в неоднородности нагрузок: ночью нагрузка может отсутствовать, а пик приходится на утренние и вечерние часы (например, в процессе кормления животных, уборки навоза и т.д.) [2, 6]. Неравномерность процесса энергоснабжения сказывается на качестве электроэнергии, а также на потере энергии в сельских сетях.

Как было сказано выше, основными видами потребляемой энергии в сельском хозяйстве является электроснабжение и топливо. Для энергоснабжения в сельском хозяйстве возможно использование местных источников энергии, такие как дизельные электростанции, ветряные мельницы, солнечная энергия, а также энергия, вырабатываемая мини-ГЭС. Топливо, необходимое для отопления и горячего водоснабжения, можно получать с помощью местных котельных от различных ресурсов (уголь, дрова и т.п.), гелиовоздухо- и гелиоводонагревателей. Для более грамотного использования энергии с учетом местных (стационарных) источников в сельском хозяйстве следует применять систему Microgrid [3]. Данная система представляет собой «микросистему» централизованного энергоснабжения, направленную на увеличение качества необходимой энергии. Дословно «microgrid» переводится как «микросеть», что в полной мере описывает данное понятие. Такие «микросети» используют возобновляемые источники энергии и собственные источники получения энергии, самостоятельно распределяют необходимое количество энергии в зависимости от текущих нагрузок, и все это происходит на местном уровне.

Система microgrid способна комбинировать необходимые источники энергии для потребителя на любом из необходимых видов топлива, в том числе и возобновляемые источники энергии.

Преимущество их использования заключается в экономическом эффекте, а также в отсутствии негативного воздействия на окружающую среду (экологический эффект). Таким образом, производство снизит затраты на оплату энергоснабжения, что особенно актуально в условиях дорожания электроэнергии [4].

Итак, система microgrid является оптимальным решением проблемы использования альтернативных источников энергии. Данная система позволяет снизить затраты на централизованную энергию, повысить качество и надежность получаемой энергии, снизить негативное воздействие на окружающую среду, а также равномерно распределять необходимое количество энергии в зависимости от технологического процесса на сельскохозяйственном производстве без энергетических потерь.

#### Список использованных источников

1. Оптимизация схем энергоснабжения современных сельскохозяйственных предприятий / Е.В. Тимофеев, А.Ф. Эрк, В.Н. Судаченко, В.А. Размук // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 94. – С. 63–71. – DOI 10.24411/0131-5226-2018-10008.

2. Гусаров, В.А. Энергоснабжение сельских территорий с помощью микросетей на основе возобновляемых источников энергии / В.А. Гусаров, Д.С. Стребков, В.В. Харченко // Энергетика і автоматика. – 2013. – № 3. – С. 10.

3. Кокорев, А.С. Комбинированные системы энергоснабжения потребителей АПК с интеллектуальными сетями (smart grid) / А.С. Кокорев // Теоретические и прикладные аспекты научных исследований : Сборник статей по материалам IV ежегодной международной научно-практической конференции, Москва, 25 января 2019 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Научный консультант", 2019. – С. 52–63.

4. Рощин, О.А. Перспектива применения возобновляемой энергетики в России / О.А. Рощин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68. – № 2(43). – С. 41–47. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-2-41-47.

5. Виноградов, А.В. Перспективные источники энергии для микросетей систем сельского электроснабжения / А.В. Виноградов,

А.Ю. Сейфуллин // Агроинженерия. – 2020. – № 4(98). – С. 46–54. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-4-46-54.

6. Гусаров, В. А. Перспективы распределенной энергетики / В.А. Гусаров // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 3(24). – С. 77–83.

**Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
БИОМАССЫ**

Проект централизованного теплоснабжения на биомассе (BDHP) реализуется Всемирным банком в Республике Беларусь с 2014 года. Он направлен на повышение энергоэффективности систем централизованного теплоснабжения и расширение использования древесной биомассы для замещения природного газа при производстве тепловой и электрической энергии в городах и поселках страны. Проект предполагает строительство 17 котельных и 3 мини-ТЭЦ общей установленной тепловой мощностью 321,65 МВт (из них 175,4 МВт на древесной щепе) и электрической мощностью 3,61 МВт.

Компонент, связанный с производством теплоты на биомассе, включает в себя установку котлов или мини-ТЭЦ, которые работают на древесной щепе или древесных отходах в качестве основного топлива, проектирование и строительство котельных, котлов и вспомогательного оборудования, закупку и установку оборудования для производства древесной щепы и складов для хранения топлива из биомассы.

Компонент, связанный с повышением энергоэффективности систем теплоснабжения, включает в себя реструктуризацию тепловых сетей с заменой устаревших трубопроводов ПИ-трубами и оптимизацию их длины, модернизацию или установку индивидуальных тепловых пунктов, что позволит снизить потребление тепловой энергии в зданиях до 25 процентов, а также модернизацию газовых котлов, которые служат для покрытия пиковых нагрузок.

Для мониторинга достижения прогнозируемой экономии энергии за счет замещения импортируемого газа в течение жизненного цикла проекта (20 лет) составлена Матрица результатов, в которой для каждой котельной или Мини-ТЭЦ обозначена цель – выработка теплоты в МВт·ч за весь период. Мониторинг проводится 2 раза в год, а результаты сравниваются с прогнозными показателями за год.

К началу 2021 года были завершены и введены в эксплуатацию 13 объектов, 5 объектов находились в стадии реализации, а на оставшиеся 2 объекта были заключены контракты.

Мониторинг выработки теплоты на внедренных объектах показал, что не все из них произвели заявленное в технико-экономическом обосновании на строительство (ТЭО) количество теплоты, и не все достигли промежуточных целей проекта.

Для установления причин невыполнения показателей проведены независимый анализ отчетов по ТЭО и оценка эксплуатационной эффективности трех котельных на биомассе, расположенных в Минской области, и двух котельных, расположенных в Могилевской области.

Рассмотрим характерные факторы, которые повлияли на выработку теплоты:

#### 1. Погодные условия.

Нагрузки новых котельных на щепе определялись для погодных условий, взятых по строительным нормам [1]. Фактическая же средняя температура наружного воздуха  $t_{н\text{ср}}$  в отопительные периоды 2019 – 2020 гг. оказалась значительно выше нормируемой. Для определения этой температуры можно воспользоваться данными о средних месячных температурах интересующего города из сайта <http://weatherarchive.ru/Pogoda/>.

Рассмотрим влияние погодных условий для выработки котельной агрогородка Кадино, расположенного в Могилевском районе. Климатические параметры наружного воздуха возьмем по г. Могилев. При расчете  $t_{н\text{ср}}$  продолжительность отопительного периода примем по нормам [1] 200 суток.

Среднее значение  $t_{н\text{ср}}$  за указанный период составляет  $+2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в то время, как  $t_{н\text{ср}}$  в нормах [1] минус  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчет представлен в табл. 1). В таблице:  $t_{\text{вн}}$  – температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{н}}$  – среднемесячная температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  – продолжительность отопительного периода в конкретный месяц, сут.



Годовое теплотребление на отопление, обеспечиваемое котлами на биомассе, в агрогородке Кадино согласно ТЭО составляет 7577 Гкал. При корректировке этого значения относительно средней температуры 2019 – 2020 гг. получим  $Q_o = 7577 \cdot (18 - 2,7) / (18 - (-1,5)) = 5945$  Гкал. Разница в расчетной и фактической выработке  $\Delta Q_o = 7577 - 5945 = 1632$  Гкал, что составляет 21,5 %; от общей выработки котельной (с учетом системы ГВС) – 18,7 %.

Таблица 1 – Климатические данные за 2019 – 2020 гг. для г. Могилев

| Месяцы                                                                   | $t_{\text{вн.}}$<br>°C            | $t_{\text{н.}}$<br>°C | $T$ ,<br>сут | $t_{\text{н.}}$<br>°C | $T$ ,<br>сут | $t_{\text{н.}}$<br>°C | $T$ ,<br>сут  |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|---------------|
|                                                                          |                                   | СНБ                   |              | 2019                  |              | 2020                  |               |
| январь                                                                   | 18                                | -6,8                  | 31           | -6,05                 | 31           | 0,43                  | 31            |
| февраль                                                                  | 18                                | -5,8                  | 28           | -1,43                 | 28           | 1,41                  | 29            |
| март                                                                     | 18                                | -1,1                  | 31           | 4,4                   | 31           | 3,45                  | 31            |
| апрель                                                                   | 18                                | 5,7                   | 21           | 7,23                  | 21           | 5,85                  | 21            |
| октябрь                                                                  | 18                                | 5,0                   | 28           | 8,98                  | 28           | 10,14                 | 28            |
| ноябрь                                                                   | 18                                | -0,1                  | 30           | 3,33                  | 30           | 3,02                  | 30            |
| декабрь                                                                  | 18                                | -4,6                  | 31           | 1,67                  | 31           | -1,29                 | 31            |
| <b>год</b>                                                               | <b><math>t_{\text{ср}}</math></b> | <b>- 1,5</b>          | <b>200</b>   | <b>2,3</b>            | <b>200</b>   | <b>3,1</b>            | <b>201</b>    |
| <b><math>t_{\text{нр}}</math> за отопительный период 2019 – 2020 гг.</b> |                                   |                       |              |                       |              |                       | <b>2,7 °C</b> |

Для других котельных, несмотря на различие в мощностях, процентное отношение влияния погодных условий практически совпадает с вышеприведенным.

2. Ошибки расчетов в ТЭО. В качестве исходных данных для расчета принимались договорные нагрузки на отопление и горячее водоснабжение (ГВС) существующих объектов без учета снижения тепловых мощностей в процессе эксплуатации, летние нагрузки ГВС завышались. При этом не учитывалась величина годового производства теплоты котельными в период, предшествовавший составлению отчета ТЭО. Поэтому выработка некоторых котельных была завышена на величину от 5,0 до 18,0 %.

3. Неприсоединение потребителей. В связи со строительством новых котельных на биомассе в ТЭО были учтены, как существующие, так и перспективные тепловые нагрузки. К перспективным объектам относятся новые жилые дома, которые должны были быть построены к концу строительства котельных. Также в ряде населенных пунктов централизованные системы ГВС в многоквартирных

жилых домах отсутствовали, а жители пользовались индивидуальными источниками горячей воды. Поэтому к перспективной отнесена также нагрузка ГВС таких домов.

В результате часть домов не была введена в строй, часть новых домов была оснащена индивидуальными котлами в квартирах, а большая часть жителей, у которых уже были установлены собственные водонагреватели, отказались от услуг ГВС, что повлекло за собой невыполнение цели по выработке теплоты на 10,0–15,0 %.

4. Отказ административных и общественных зданий от услуг ГВС. Часть административных зданий и некоторых учреждений образования отказалась от централизованного ГВС, что снизило выработку теплоты на 2,8–6,8 %.

5. Снижение выработки теплоты в 2020–2021 году из-за пандемии. К объектам, которые «пострадали» от коронавирусной инфекции, относятся санатории, физкультурно-оздоровительные комплексы, сдаваемые в аренду предприятия общественного питания. Недозагрузка таких объектов оценивается величиной от 9,0 до 10,0 %.

К другим причинам, оказавшим влияние на невыполнение целей проекта, относятся: снижение фактической отопительной нагрузки существующих потребителей за счет утепления жилых домов, самостоятельной замены окон жильцами, установки приборов автоматического регулирования; сокращение плановых потерь в тепловых сетях; отсутствие технической возможности подключения систем ГВС из-за ненадлежащего состояния оборудования и инженерных систем внутри зданий; ремонты тепловых сетей с отключением потребителей в летний период; капитальные ремонты в общественных зданиях; неиспользование систем приточной вентиляции в зимний период и пр.

К объективным причинам снижения выработки теплоты новыми котельными на биомассе можно отнести климатические факторы и ситуацию с пандемией Covid-19. Остальные факторы должны были быть учтены при планировании тепловых нагрузок и составлении ТЭО.

#### Список используемых источников

1. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология / Министерство архитектуры и строительства РБ – Минск, 2001.

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

**Войтехович И.В., руководитель проекта Всемирного банка,  
Минск, Республика Беларусь**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ**

При проведении энергоэффективных мероприятий в зданиях учреждений образования важно правильно оценивать размер экономии энергоресурсов, как в энергетических единицах (кВт·ч, Гкал, т у.т.), так и в процентном отношении к существующему потреблению (потенциал энергосбережения).

Расчет годовой экономии электрической энергии не вызывает особых вопросов, если корректно учитывать число часов работы оборудования и осветительных устройств, а также коэффициент использования мощности.

При определении годовой экономии тепловой энергии возникают трудности в выборе параметров внутреннего и наружного воздуха, по которым следует производить расчеты.

При нарушении санитарных норм температура воздуха в помещениях устанавливается ниже требуемой величины. Это происходит, как правило, из-за вынужденной экономии энергоресурсов. И этот факт имеет место не только в административных зданиях, но и в учреждениях образования. Действительно, снижение температуры на 1°C влечет за собой уменьшение годового расхода теплоты приблизительно на 7 %.

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период зависит от погодных условий и может существенно отличаться от нормативного значения, что наблюдалось последние два года. Снижение теплопотребления от изменения наружной температуры на 1°C будет таким же, как и от изменения внутренней (7 %). А зимы в 2019 и 2020 годах были теплыми, с отклонением наружной средней температуры на +3...4°C.

Даты начала и окончания отопительного периода также диктуются погодными условиями, но на местах в целях экономии могут устанавливать свои режимы. Положительные температуры наружного воздуха позволяют не просто снижать отопительную

нагрузку в ночное время, праздничные и выходные дни, но и полностью отключать отопление без опасения разморозить систему. Сокращение продолжительности отопительного периода на 10 суток приводит к экономии теплоты на 6 %.

Существует методика [1] по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, в которой расчет и годового расхода теплоты, и экономии проводится с использованием нормативных параметров внутреннего и наружного воздуха.

На практике при использовании методических рекомендаций [1] возникают противоречия в расчетных величинах и величине фактического потребления теплоты в зданиях.

Проиллюстрируем вышесказанное на примере детского сада, расположенного в г. Ошмяны. Энергоаудит в этом дошкольном учреждении проводился в 2018 году в рамках международного проекта Соглашение мэров.

Сравним теплоэнергетические показатели детсада, рассчитанные по нормативам и по прибору учета. Централизованная система ГВС в здании отсутствовала, поэтому теплосчетчик отражал только затраты на отопление. Продолжительность отопительного периода в детских садах увеличена по отношению к другим общественным зданиям, так как отопление в них включается при граничной температуре не 8, а 10°C.

Рассматриваются мероприятия по утеплению наружных стен, кровли, замене окон, внедрению новой системы автоматизации отпуска теплоты. Параметры и расчетные данные сведены в таблицу 1.

Экономия теплоты от проведения мероприятий определялась по методическим рекомендациям [1] с использованием нормативных параметров внутреннего и наружного воздуха [2, 3].

Различие в значениях экономии за счет автоматизации теплопотребления объясняется тем, что процент экономии берется согласно рекомендациям одинаковым (23 %), а расчетное значение годового расхода нужно принимать как достигнутое, с учетом выполнения мероприятий по утеплению наружных стен, кровли, замены окон.

Достигнутое фактическое теплопотребление в нашем примере составляет  $300,0 - 83,2 - 71,5 - 91,7 = 53,6$  Гкал; расчетное  $495,5 - 83,2 - 71,5 - 91,7 = 249,1$  Гкал.

Таблица 1 – Расчет экономии теплоты и потенциала энергосберегающих мероприятий в детском саду

| Параметры              | $t_{\text{вн}},$<br>°C | $t_{\text{ср.о}},$<br>°C | $T_{\text{от}},$<br>сут | $Q^{\text{год}},$<br>Гкал | Экономия теплоты, Гкал        |                     |                |               |             |
|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------|---------------|-------------|
|                        |                        |                          |                         |                           | утепление<br>стен             | утепление<br>кровли | замена<br>окон | автоматизация | Всего       |
| Фактические<br>2017 г. | 18,5                   | 2,2                      | 190                     | 300,0                     | 83,2                          | 71,5                | 91,7           | 12,3          | 258,7       |
| Нормативные            | 21                     | 0,2                      | 222                     | 495,5                     | 83,2                          | 71,5                | 91,7           | 57,3          | 303,7       |
|                        |                        |                          |                         |                           | Потенциал энергосбережения, % |                     |                |               |             |
| Фактические<br>2017 г. | 18,5                   | 2,2                      | 190                     | 300,0                     | 27,7                          | 23,8                | 30,6           | 12,3          | <b>94,4</b> |
| Нормативные            | 21                     | 0,2                      | 222                     | 495,5                     | 16,8                          | 14,4                | 18,5           | 11,6          | 61,3        |

Обращает на себя внимание несоответствие нормативных и фактических параметров внутреннего и наружного воздуха. И если с погодой не поспоришь, то внутренняя температура в детском саду поддерживалась ниже нормативной на 2,5°C, а продолжительность отопительного периода и вовсе отличается от нормативного на 32 суток.

В результате расчетное теплopotребление отличается от фактического, принятого по прибору учета, на 195,5 Гкал, а потенциал энергосбережения (при делении расчетной экономии от предлагаемых мероприятий на фактический годовой расход) составляет 94,4 %.

Если строго следовать методике [1], то в нашем примере экономия по нормативным параметрам составляет 303,7 Гкал, что выше фактического годового потребления (300,0 Гкал).

На практике для сопоставимости расчетных и фактических данных оценку потенциала энергосбережения приходится проводить по фактическому теплopotреблению и по фактическим параметрам наружного и внутреннего воздуха, имевшим место в учреждении образования в базовом году. Смущает в таком подходе тот факт, что мы заранее прогнозируем нарушение санитарных норм в учреждениях образования в будущем.

Если температура внутреннего воздуха в дальнейшем будет соответствовать нормам, то величина экономии от энергосберегающих мероприятий не будет соответствовать реалиям, так как часть сэкономленной теплоты пойдет на доведение температуры внутреннего воздуха в помещениях до нормируемого значения. Если температура наружного воздуха в будущем начнет

приближаться к нормативному значению, то экономия теплоты от проведенных мероприятий вырастет, впрочем, как и годовой расход.

Из вышесказанного следует, что в методику [1] следует внести изменения, чтобы устранить те противоречия, которые возникают при расчете потенциала сбережения теплоты в зданиях.

Список используемых источников

1. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Минск, 2020.

2. СанПиН «Требования для учреждений дошкольного образования», утвержденные постановлением Минздрава Республики Беларусь от 25.01.2013 № 8.

3. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология / Министерство архитектуры и строительства РБ – Минск, 2001.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор,  
академик НАН Республики Беларусь,  
Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Клинцева В.Ф., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОГАЗОВОЙ  
УСТАНОВКИ**

Использование биогазовых установок позволяет решить ряд важнейших проблем:

– экологическую (осуществляется санитарная обработка сточных вод (особенно животноводческих и коммунально-бытовых), содержание органических веществ снижается до 10 раз; количество таких микроорганизмов как кишечная палочка, синегнойная палочка и плесневые грибы находятся в безопасных пределах, патогенная микрофлора практически отсутствуют, яйца гельминтов отсутствуют);

– энергетическую (при метановом брожении высокий (80–90 %) КПД превращения энергии органических веществ в биогаз, который с высокой эффективностью может быть использован в двигателях внутреннего сгорания и для получения тепловой и электрической энергии);

– агрохимическую (анаэробная переработка отходов животноводства, растениеводства и активного ила приводит к минерализации основных компонентов удобрений (азота и фосфора) и их сохранению (в отличие от традиционных способов приготовления органических удобрений методами компостирования, при которых теряется до 30–40 % азота);

– экономическую (биогазовые установки могут быть размещены в любом регионе страны и не требуют строительства дорогостоящих газопроводов, что ведет к снижению себестоимости продукции, экологических платежей);

– социальную (улучшение условий труда и создание новых рабочих мест) [1].

В настоящее время сдерживающим фактором является значительные денежные затраты на строительство и работоспособность БГУ в системе комплексного энергообеспечения предприятия.

Биогазовые комплексы, сооруженные в Республике Беларусь спроектированы различными фирмами включая иностранные, их эффективность определяется составом оборудования и их функциональные возможности.

Вместе с этим необходимо типовое проектирование БГУ учитывающих особенности АПК Республики Беларусь. Самым надежным способом является разработка пилотных проектов демонстрационных зон высокой эффективности, обеспечивающих концептуальное проектирование структурно-функциональных схем и их многофакторная оценка значимости.

Демонстрационные зоны высокой энергоэффективности (ДЗВЭ) представляют собой совокупность проектов, осуществляемых в масштабах ограниченной территории, в которых создаются благоприятные условия для получения и демонстрации совокупного эффекта по приоритетным направлениям энергосбережения, концентрации ресурсов производственного и научно-технического потенциала, накопленного зарубежного и отечественного опыта, проведения широкомасштабной информационно-пропагандистской деятельности среди специалистов и общественности по демонстрации на практике преимуществ внедрения энергосберегающих технологий, оборудования, изделий и материалов.

Нормативно-правовой базой для создания ДЗВЭ в Беларуси является:

Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении», от 5 января 2015 г. №239-З, который рекомендует при проектировании и реали-

зации проектов использовать новое направление в виде демонстрационных зон высокой энергоэффективности. (Статья 25. Информационное обеспечение в сфере энергосбережения создания на территории отдельных административно-территориальных единиц демонстрационных территорий (демонстрационных зон высокой энергоэффективности), на которых реализованы демонстрационные проекты эффективного использования топливно-энергетических ресурсов, с учетом передового зарубежного и отечественного опыта решены организационные, технические, экономические вопросы энергосбережения.)

Таблица 1 – Удельные капиталовложения в биогазовый комплекс с различными типами энергетического оборудования

| Тип энергетического оборудования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Удельные капиталовложения в биогазовый комплекс установленной мощности тыс.руб./кВт |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Паровые и водогрейные котельные установки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 20000–24000 (установленной тепловой мощности.)                                      |
| Когенерационные энергетические модули на базе двигателей внутреннего сгорания комплектно с установкой утилизации теплоты уходящих дымовых газов                                                                                                                                                                                                                                                                              | 30000–35000 (установленной электрической мощности.)                                 |
| Когенерационные энергетические модули на базе газовых турбин комплектно с установкой утилизации теплоты уходящих дымовых газов                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 35000–40000 (установленной электрической мощности.)                                 |
| Другое технологическое оборудование                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 25000–30000 (установленной электрической мощности.)                                 |
| <p>Примечания</p> <p>В капиталовложения включены затраты на строительно-монтажные, проектные и пусконаладочные работы.</p> <p>Меньшие значения удельных капиталовложений принимаются для энергетических установок суммарной тепловой и электрической мощностью более одного МВт.</p> <p>При работе в термофильном режиме к удельным капиталовложениям применяется коэффициент снижения капитальных вложений равным 0,95.</p> |                                                                                     |



Принципы отбора базовых сельскохозяйственных предприятий для проектирования ДЗВЭ с ВИЭ в регионах:

- уровень централизованного энергообеспечения базовых градообразующих предприятий в регионах;
- природно-климатические условия и перспективная специализация хозяйственно-экономической деятельности базовых предприятий;
- технически реализуемый потенциал местных энергоресурсов, включая возобновляемые;
- приоритетный ряд критериев значимости и требований для отбора системы базовых предприятий и кластеров гибридных систем энергоустановок с использованием ВИЭ для каждого региона

Система критериев значимости для обоснования эффективности ДЗВЭ:

1. Ресурсная значимость (технический потенциал местных энергоресурсов);
2. Экономическая значимость (себестоимость и средняя цена производства электрической и тепловой энергии с использованием местных энергоресурсов);
3. Социальная значимость (создание дополнительных рабочих мест; содействие развитию местной промышленности, обеспечение социальных стандартов для населения и как следствие, приток квалифицированных специалистов в аграрную сферу);
4. Энергобезопасная значимость (технический потенциал местных и объемы замещения импортируемых энергоресурсов, надежность энергоснабжения и др.);
5. Информационно-демонстрационная значимость (оценка функции полезности сети ДЗВЭ для лиц принимающих решения, определяющих привлекательность совместной деятельности стран СНГ в сопровождении типового проектирования и создания комплексных энергосистем с использованием ВИЭ).

Создание ДЗВЭ позволит осуществлять накопление и адаптацию зарубежного и отечественного опыта, привлечение прямых иностранных инвестиций с целью дальнейшего развития экономики и социальной сферы агропромышленного комплекса Республики Беларусь. [2]

Развитие идеи ДЗВЭ предполагает разработку комплекса многофакторных моделей и исследований многофакторных расчетных моделей, что является дальнейшими задачами научного исследования.

Список использованных источников

1. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов: ТКП 17.02-05-2011 (02120). – Введ. 12.01.01. – Минск: Минприроды РБ. – 2012. – 3 с.

2. Герасимович, Л.С. Методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием местных ресурсов / Л.С. Герасимович, Ю.И. Сапун, О.Л. Синенький // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – № 1. – С. 93–108.

**Герасимович Л.С., академик, д.т.н., профессор,  
Михайлов В.В., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛИЧНОГО  
КОМБИНАТА**

Тенденции развития тепличного овощеводства обусловлены переходом на инновационные технологии интеллектуализации и цифровизации управления биопродукционным процессом производства тепличных овощей. Мировое тепличное овощеводство развивается как эффективное и наукоемкое сельскохозяйственное производство.

Появление и широкое распространение новых технологий в теплицах значительно улучшило экономику овощной отрасли, увеличив урожайность, при существенном снижении затрат. Это привело к ускоренному росту отрасли до 11 % в год.

В Республике Беларусь функционирует 21 тепличный комбинат с общей площадью около 24 га современных блочных теплиц. В связи с повышенным спросом на овощи и зелень продолжается строительство теплиц не только в тепличных комбинатах, но и в небольших фермерских хозяйствах.

Повышение урожайности в защищенном грунте неразрывно связано с соблюдением не только технологий выращивания, но и в применении новейших эффективных технических решений. Среди них наибольший интерес вызывает технология искусственного облучения растений (светокультура) и управление этим процессом [1].

Современные комплексные исследования адаптивных биотехнических систем требуют новых количественно-качественных подходов к систематизации и интеграции накопленных знаний, применение современных математических и кибернетических методов, позволяющих оперировать большим количеством разноплановой информации, описывающих поведение таких систем.

Имитационное многофакторное моделирование положено в основу структурно-параметрического и алгоритмического синтеза системы адаптивного оптимального управления биопродукционным процессом. Такой класс управления относится к новому научно-техническому направлению построения и использование интеллектуальных систем технического назначения, которые способны решать функциональные задачи, традиционно считающихся творческими.

Теоретическую основу построения таких моделей составляют методы системотехники и системного анализа, математические методы и алгоритмы решения задач управления, численные методы оптимизации и программирования. Характерным принципом исследования и анализа управляемых биотехнических систем является метод интеллектуальной поддержки принятия решений [1].

Рассмотрим такой подход на примере светокультуры овощеводства. Светокультура является переменной 1-го порядка значимости [2]. Интеллектуальное управление светокультурой является многофакторным и имеет характерные признаки: многоуровневая иерархическая структура управления и функциональная модель подсистем и нестационарного биофункционального процесса в различных фазах роста растения и в зависимости от внешних факторов (температурно-влажностного режима, спектрального состава и интенсивности ФАР). Отдельные параметры подсистем имеют стохастический характер. Эта система управления должна обладать свойствами адаптации, оптимизации и толерантности (отказоустойчивости). Она относится к логичной мультиагентной интеллектуальной системе биотехнического назначения. Проблемы повышения

эффективности тепличного овощеводства включают показатели энерго- и ресурсоэффективности различных сортов и гибридов.

Современная задача синтеза структурных схем управления сложными системами базируется на применении новых информационных технологий роботного и адаптивного управления.

Общая модель Анохина-Пупкова интеллектуальной робототехнической системы управления технического назначения, требует большое количество информационных каналов объектов робототехники в соответствии с принципом Энби, но вместе с этим используя взаимозависимости между информационными каналами управления биологическим объектом, обладающим адаптивными приспособительными свойствами.

Оптимизация алгоритмов программной части контекстно-зависимой системы интеллектуального управления объекта управления по использованию максимальной части интеллектуальных ресурсов является основной задачей при проектировании и реализации вычислительной среды, следует использовать соответствующий язык параллельных информационных технологии и в первую очередь обеспечить принцип защиты биотехнической системы от разрушения функциональных задач технологии выращивания растений. Исследования в производственных условиях светодиодной установки для облучения растений томата доминантному каналу контроля и управления влажностью ризосферы показали повышение энергоэффективности системы интеллектуального управления тепличного производства овощей более чем в 2 раза за счет управления спектральными параметрами фитооблучателей.

Изложенные принципы интеллектуального управления биотехнологической системой тепличного комбината основаны на включении ценоза растений, как адаптивного биообъекта труда в автоматизированную систему выращивания овощей, управляемой по ответной реакции «говорящего растения» в режиме “on-line” обеспечивает повышение эффективности тепличного производства.

#### Список используемых источников

1. Герасимович Л.С Принципы интеллектуального управления биотехнической системой тепличного комбината. /Л.С. Герасимович / – Научные чтения БГТУ, – Минск. – С. 153.

2. Веремейчик, Л.А. Научные основы питания томатов на минеральных субстратах: монография / Л.А. Веремейчик, Л.С. Герасимович; под ред. акад. Л.С. Герасимовича. – Мн.: Академия при Президенте Республики Беларусь, 2005. – 234 с.

3. Свентицкий И.И. Энергосбережение и энергетическая экстремальность самоорганизации /И.И. Свентицкий/ – М. : ВИЭСХ – 468 с.

4. Демчук М.И. Системная методология инновационной деятельности: учеб. пособие/ М.И. Демчук. А.Т. Юркевич. – Мн: РИВШ, 2007. – 304 с.

**Дворник Г.М. к.пед.н., доцент, Зайцев Е.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ –**  
**ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО ВНЕДРЕНИЯ**  
**НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК**

Развитие и использование нетрадиционных источников энергии в АПК определяется несколькими факторами важнейшими среди которых являются – финансовые возможности, материально-техническая база предприятия и профессиональный уровень подготовки специалистов, работающих в этой сфере. Поскольку данный сегмент энергетики развивается достаточно быстро, на практике возникает проблема кадрового обеспечения специалистами этого направления деятельности. На наш взгляд, решение этой проблемы состоит в реализации парадигмы – образование через всю жизнь, посредством современных электронных образовательных технологий и ресурсов. Причем, что очень важно с их помощью возможно дистанционно, с высокой степенью эффективности, поднимать профессиональный уровень специалистов без отрыва от производственной деятельности! Внедрение в образовательный процесс электронных образовательных ресурсов, как одна из приоритетных задач названа в «Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года» [3]. В области электронных образовательных ресурсов, помимо постоянно идущего процесса появления и освоения педагогическим сообществом новых аппаратных технологий и программных компьютерных сервисов,

наблюдаются новые тенденции – а именно: разработка и достаточно активное освоение и распространение инновационных дидактических моделей и педагогических методик. К таковым относятся массовые открытые онлайн курсы (МООК).

Появление МООК в 2008 году было воспринято, как «революция», как «панацея», с помощью которой можно решить насущные проблемы современной системы образования, а именно – стереть границу между элитным и массовым образованием, предоставив огромному количеству желающих доступ к ресурсам ведущих университетов мира.

Этот феномен способен существенно изменить практически все методические и педагогические практики, а также администрирование образовательных процессов и в целом перестроить экономику образовательного сегмента общественной жизни в глобальном масштабе [3]. Считается, что именно массовые открытые онлайн-курсы способны вывести современную сферу образования на принципиально новый уровень.

Можно выделить следующие причины такого бурного роста:

- демократизация образования,
- создание открытого образовательного пространства,
- повышение престижа университетов – участников,
- возможность непрерывного образования и повышения квалификации,
- возможность решения назревших проблем в сфере высшего образования.

Отметим, что в основе массовых онлайн-курсов (МООК) лежит совершенно новая бизнес-модель. Университеты в этом случае идут на определенные затраты, связанные с организацией и проведением обучения, однако результаты, связанные с популяризацией университета и дальнейшим увеличением за счет этого числа студентов, полностью компенсируют затраты на онлайн-курсы.

В мире разработано и активно используется около 400 платформ для ведения открытых массовых онлайн-курсов, однако наиболее известными и востребованными являются курсы, созданные на почти одновременно появившихся в 2012 г. специализированных платформах Coursera, edX и Udacity, которые были разработаны ведущими университетами США – пионерами в этой области: Массачусетским технологическим институтом (MIT),

Университетом Гарварда и Стэнфордским университетом. Позднее к разработке собственных платформ активно подключились и другие американские и английские университеты (платформы Canvas, FutureLearn) и разработчики национально-ориентированных программных продуктов (например, популярная в Японии платформа gasso, латиноамериканская MiriadaX и т. п.).

Массовые открытые онлайн-курсы, несмотря на относительно короткую историю своего использования в сфере образования, поражают ученых скоростью своего распространения – почти такой же, какая была характерна для распространения Интернета в 1980-е гг. Так, менее чем за 5 лет количество предлагаемых на разных MOOK-платформах учебных курсов выросло более чем в 40 раз. Есть также данные, что в 2015 г. общее число студентов, которые были записаны хотя бы на один из предлагаемых разными MOOK-платформами онлайн-курсов, достигло 35 млн человек (при том, что в 2014 г. таких было только 17 млн) [4]. Эти данные также свидетельствуют в пользу уникальности этого нового образовательного средства и его большого образовательного потенциала.

Таким образом, сложившимся специалистам в области энергетики обучение в системе MOOK позволяет решить возникающие новые задачи в текущей профессиональной деятельности, а также повысить свою квалификацию для усвоения новых знаний, навыков и умений на перспективу и установить новые полезные контакты в своей профессиональной сфере.

#### Список используемых источников

1. Кедрова Г.Е., Муромцев В.В. Электронные учебники: актуальные проблемы стандартизации // Вестник качества. 2008. № 6 (84). С. 28–34.
2. <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk1100243>. (Доступ 21.11.21).
3. Ведущие российские университеты создали некоммерческую организацию для совместного развития онлайн-обучения [Электронный ресурс] URL: <http://шшш.минобрнауки.рф/новости/5369> (дата обращения: 20.07.2017).
4. *Milligan C, Littlejohn A. Why Study on a MOOK? The Motives of Students and Professionals // International Review of Research in Open and Distributed Learning. 2017. Vol. 18. №. 2.*

**Заикин А.С.<sup>1</sup>, Абдулхаев Х.Г.<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.**

**Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Гульбахор, Республика Узбекистан**

## **РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДОГРЕВА ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ**

Развития солнечной энергетики, и преобразование энергии солнца в другие виды энергии перспективная и поддерживаемая на уровне государства тема. В частности, Директива Президента Республики Беларусь №3, подтверждает важность проектов возобновляемой энергетики и придает большое значение инвестициям в развитие солнечной энергии в нашей стране, для увеличения конкурентоспособности экономики.

В данной работе представлена возможность организации подогрева площадки для хранения сельскохозяйственной техники на основе гелиоколлекторов. Применение таких гелиоколлекторных установок, в том числе установок с аккумуляторами тепла, будет интересно не только для Республики Беларусь но и для Республики Узбекистан, Причем в условиях Узбекистана, когда температура редко опускается ниже  $-5^{\circ}\text{C}$  важно имеено компенсация температуры, чтобы не допустить перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  в ночное время и тем самым обеспечить лучшие показатели в хранении сельскохозяйственной техники и избежать возможных проблем с дизельным топливом и смазочными материалами.

Существуют различные виды солнечных коллекторов [1], но наибольшее распространение получили плоские коллекторы и коллекторы с вакуумными трубками. Как правило, системы на базе гелиоколлекторов включают в себя солнечные коллекторы общей площадью 8–20 м<sup>2</sup>, бак-аккумулятор, ёмкость которого определяется площадью используемых коллекторов, циркуляционный насос или насосы (в зависимости от типа тепловой схемы) и другое вспомогательное оборудование. Системы такого типа могут использоваться для решения задач компенсации суточного перепада температуры в подогреве площадки хранения техники, за счет



большей тепловой инертности теплоносителя а в остальное время может рационально использоваться для нужд и горячего водоснабжения.

Сбор и аккумуляция солнечной энергии производится тепловыми аккумуляторами которые предполагаю возможность работы системы с использованием накопленного тепла в течение нескольких суток [2]. Поскольку в нашем случае солнечный коллектор устанавливается для обогрева значительной по площади площадки, необходим и значительный удельный объем теплоаккумулятора  $0,1 \text{ м}^2$ . В цепочку включают циркуляционные насосы, секционные клапаны (позволяющие включать обогрев только занятых секций площадки), датчики давления (либо оптические датчики определяющие занятость площадки), датчики температуры и вспомогательные нагревательные устройства (для предотвращения замерзания системы).

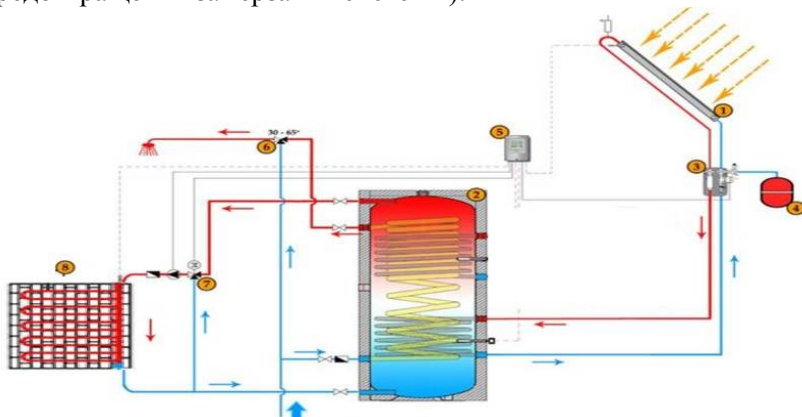


Рисунок 1 – Схема гелиоколлекторной установки для подогрева площадок хранения транспортных средств.

- 1 – солнечный коллектор; 2 – накопительный бак 3 – насосная станция;  
4 – расширительный бак. 5 – контроллер; 6, 7 – краны с электроприводом;  
8 – стоянка сельскохозяйственной техники.

В нашей работе предусматривается разработка схемы управления, для повышения эффективности применения гелиосистем малой мощности – для схемы включения коллектора в двухконтурном исполнении, как представлено на рисунке 1. Аналогичные решения для систем малой мощности и локальных

систем рассмотрены авторами в работе [3] и обоснована их экономическая эффективность.

Принцип работы предложенной системы

Нагревание происходит за счет нагретой жидкости теплоносителя, сакумулированной в накопительном баке-теплообменнике (2) и предварительно нагретой при помощи гелиоколлектора (1). Нагревом площадки управляет контроллер (5), который по показаниям оптических датчиков определяет какой из сегментов площадки хранения (8) занят, и при падении температуры, на поверхности площадки ниже  $3^{\circ}\text{C}$ . На тех сегментах где она присутствует, открываем кранов (6, 7) и запуском циркуляционного насоса при необходимости поддерживается температура в пределах  $4-5^{\circ}\text{C}$  при отрицательной наружной температуре. Сегменты на которых датчики определили отсутствие техники, не прогреваются для экономии теплоносителя. В случае значительных отрицательных температур – теплоноситель догревается до  $5^{\circ}\text{C}$  сымом, чтобы предотвратить замерзание.

Закключение. Предложенная система в перспективе позволит опеспечить более комфортные условия хранения СХ, поможет избежать необходимости длительного предварительного прогрева техники, что позволит оптимизировать затраты на эксплуатацию сельскохозяйственной техники в зимний период.

Список использованных источников

1. Грузин В.В. Есеев К.М. Современные конструкции и классификация солнечных коллекторов / Актуальные проблемы современности №2(8).– 2015.– С.58-62.

2. Сухоцкий, А.Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: курс лекций для студентов специальности 1-43 01 06 "Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент" / А.Б. Сухоцкий, В.Н. Фарафонов ; БГТУ. – Минск : БГТУ, 2009. – 244 с.

3. Вопросы эффективности применения гелиосистем малой мощности Ханаев В.В. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2015. № 2 (59). С. 98–107.

**Карпович А.М., Цубанова И.А.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**  
**РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ**  
**ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Энергетическая независимость является одной из главнейших задач, стоящих перед правительством любой страны независимо от уровня ее развития и места на земном шаре. Последние процессы, происходящие на мировом рынке энергетических ресурсов, показали, что с каждым годом важность этой задачи постоянно растет. Любая страна, стремящаяся занять значимое место в мировой политике, одной из своих задач видит полное обеспечение всеми возможными энергетическими ресурсами.

Совокупность различных процессов, происходящих в последнее время во всем мире, показывает значимость обеспечения энергетической безопасности страны. Стоит отметить, что не только рост цен на отдельные энергетические ресурсы определяет важность использования широкой номенклатуры энергетических ресурсов. Мировой рынок энергетических ресурсов не является постоянной и неизменной величиной. Появление стран, которые заинтересованы в приобретении больших объемов энергетических ресурсов, а также имеют большие финансовые возможности, может оставить менее обеспеченные страны на «голодном пайке».

Традиционные источники энергии, которые используются во всем мире, имеют одним главнейшим своим недостатком невозобновляемость запасов или длительный период их восстановления. Месторождения легко добываемых ресурсов постепенно истощаются, что требует разработки месторождений во все более трудных условиях. Это сказывается на стоимости добычи и цене продажи. В перспективе это может привести к тому, что появятся месторождения, добыча из которых будет нерентабельна, что приведет к их «виртуальному существованию». В этом случае месторождения как бы существует, но для рыночной экономики их нет [1].

Имеются проблемы также и с альтернативными источниками энергии, которые опираются на природные процессы. В этом случае главной проблемой является то, что все природные процессы не

контролируются человеком. Добыча традиционных ресурсов контролируема, тогда как наличие солнца, ветра, прилива и других природных процессов происходит не по воле человека. Следствием этого является то, что производство энергии имеет максимумы и минимумы, что не позволяет полностью заменить традиционные способы генерации энергии.

Решение этого комплекса проблем являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ), формируемые из местных энергоресурсов. Это позволяет повысить уровень энергетической независимости страны, а также решить некоторые проблемы, существующие в стране. [2]

Сам по себе переход на использование ВИЭ определяется наличием комплекса глобальных проблем, которые требуют увеличения объемов энергетической генерации.

Природно-климатические и геологические особенности Республики Беларусь определили, что возобновляемыми источниками энергии, позволяющими заменить традиционные топливные ресурсы, являются:

- древесина, используемая в отоплении;
- отходы деревообработки и лесозаготовок;
- отходы работы предприятий сельского хозяйства и коммунальных отходов, используемых для получения биогаза.

К возобновляемым источникам энергии, теоретически используемым на территории Республики Беларусь можно отнести также солнечную и ветровую энергии, а также геотермальную [3].

Наиболее распространённые ВИЭ не имеют четкой локализации на территории Республики Беларусь, что является их преимуществом. Как следствие, возможно использование имеющихся ВИЭ локальными потребителями для собственных нужд. Особенно актуально это для объектов, удаленных от основных газовых и электрических цепей.

Перспективным для территории РБ является использование торфа, запасы которого составляют около 2,4 млрд. т. Вместе с тем, промышленная добыча возможна только 302 млн. т.

Рассматривая характеристики территории Республики Беларусь, которая характеризуется облесением около 40 % территории, можно сделать выводы, что использование отходов деревообработки и лесозаготовки имеют значительные перспективы. Обращаясь к работе

сельскохозяйственных предприятий можно отметить, что биогазовые установки также достаточно перспективны на территории страны. Объём образующихся в сельском хозяйстве отходов достаточен для рентабельности его использования для производства биогаза [4].

Энергетическая безопасность Республики Беларусь должна опираться на широкое использование различной номенклатуры энергетических ресурсов. Этими ресурсами должны являться как традиционные энергетические ресурсы, так и различные виды возобновляемых источников энергии. Опора на различные возобновляемые источники энергии позволяет снизить зависимость от импортных энергетических ресурсов, а также решить некоторые экологические проблемы.

#### Список используемых источников

1. Посысаев, Ю.Ю. Конкуренция альтернативных видов энергии на мировом рынке / Ю.Ю. Посысаев // Российский внешнеэкономический вестник, № 8, 2014. – С. 68–88.
2. Дегтярев, К.С. К вопросу об экономике возобновляемых источников энергии / К.С. Дегтярев, А.М. Залиханов, А.А. Соловьев // Энергия: экономика, техника, экология, № 10, 2016. – С. 10–20.
3. О возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь от 27.12.2010 № 204-З // Законодательство Республики Беларусь. Режим доступа: <http://pravo.newsby.org/belarus/zakon0/z312.htm>. – Дата доступа: 29.11.2021.
4. Стребков, Д.С. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства / Д.С. Стребков, А.А. Ковалев // Техника и оборудование для села, № 11, 2006. – С. 28–30.

**Komar A., engineer, Boltianska N., Ph.D. Eng.  
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university,  
Melitopol, Ukraine.**

#### **BASIC PRINCIPLES OF ENERGY SAVING IN THE AGRICULTURAL COMPLEX**

Throughout its existence, mankind has used the energy accumulated by nature for billions of years. At the same time, the methods of its use

were constantly improved in order to obtain maximum efficiency. Energy has always played a special role in human life. All its activities are associated with energy consumption. Thus, at the very beginning of man's evolutionary development, only the energy of his body muscles was available. Later, man learned to receive and use the energy of fire. Another round of evolutionary development of human society brought the opportunity to use the energy of water and wind - there were the first water and wind mills, water wheels, sailing ships that use wind power to move [1,2]. In the XVIII century, a steam engine was invented, in which the thermal energy obtained by burning coal or wood, is converted into energy of mechanical motion. In the XIX century, an electric arc was discovered, electric lighting, an electric motor was invented, and then an electric generator - which was the beginning of the century of electricity. The twentieth century was a real revolution in human development of methods of obtaining and using energy: building thermal, hydraulic, nuclear power plants of enormous power, built high-voltage, ultra- and ultra-high voltage power lines, developed new methods of production, conversion and transmission of electricity, powerful power systems are created. At the same time, powerful oil and gas supply systems appeared [3, 4].

Thus, the world around us has a truly inexhaustible source of various types of energy. Some of them are not yet fully used today - the energy of the Sun, the energy of interaction of the Earth and the Moon, the energy of fusion, the energy of the Earth's heat. Energy now plays a crucial role in the development of human civilization. There is a close relationship between energy consumption and output. Unfortunately, most of the energy consumed by humans is converted into useless heat due to the low efficiency of the use of available energy resources [3, 4].

Energy saving is a multifaceted process and covers various areas of human activity. In essence, this way of life of the people, society, produces a certain psychological algorithm of behavior. The development of the economy of the republic as a sovereign state is impossible without the development of a national idea, the psychology of careful and economical use of available energy and raw materials, the use of experience in this field by other countries. And this is the most important area of activity today, a resource to increase the competitiveness of industrial production, a way to integrate the economy into the international market [5].

Traditionally, energy consumption is divided into three areas: electricity consumption, heat consumption, fuel combustion. Modern energy saving is based on three basic principles:

- firstly, not so much the strict saving of electricity as its rational use, including the search and development of new non-traditional sources of energy saving;
- secondly, the widespread use of both household and industrial meters for metering and regulating the consumption of electrical and thermal energy;
- third, the introduction of the latest technologies to reduce the energy intensity of production.

Based on this, in energy saving there are the following groups of measures that ensure efficient energy use and rational use of fuel and energy resources: scientific and technical; organizational and economic; regulatory and technical; information; legal.

*Scientific and technical* measures for energy saving are aimed at the development and use in the production of new methods and devices with high energy efficiency.

*Organizational measures* for energy saving are divided into organizational-mass and organizational-technical. One of the conditions for ensuring careful and rational use of fuel and energy, reducing their losses in production is the implementation of organizational and mass work at enterprises aimed at saving fuel and energy resources. Forms and methods of this work are various and at each concrete enterprise have the features. The main purpose of organizational and mass work is to bring to all members of the workforce of national importance of economical and careful use of fuel and energy, preventing their losses in all areas of production, involvement in saving each employee, organizing the work of public organizations to identify and eliminate losses, search and use of savings reserves, rewarding staff for savings and taking strict measures against wasteful fuel, heat and electricity.

*Economic measures* for efficient energy use include a system of flexible energy prices and universal tariffs; tax policy and measures of material stimulation of economic energy consumption.

*The normative and technical measures* for energy saving include actions to create appropriate standards and other normative and technical and guiding documents to ensure efficient energy use and rational use of fuel and energy resources.

*Information measures* on energy saving include holding information and technical seminars, exhibitions, conferences, symposia on this topic, as well as informing the public through the media (press, television, radio) about the main actions for the rational use of energy, both in

production and in everyday life. All of the above energy saving measures must be supported by an appropriate legal framework.

### Bibliography

1. Skliar O. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms / O. Skliar, S. Grigorenko // Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. – 2021. – Pp. 255–257.

2. Skliar R. Measures to improve energy efficiency of agricultural production / R. Skliar, O. Skliar // Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France. – 2020. – Pp. 478–480.

3. Manita I.Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector / I.Y. Manita, A.S. Komar // Engineering of nature management. – 2021. – №1(19). – Pp. 7–12.

4. Zhuravel D. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems / D. Zhuravel, O. Skliar // Multidisciplinary academic research. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands. – 2021. – Pp. 83–86.

5. Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock / O. Skliar // Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy. – 2021. – Pp. 171–176.

**Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Авдошка И.В., к.ф.-м.н.,  
доцент, Клинцева В.Ф.**

**Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ**

Энергетика в целом, и электроснабжение в частности, является основной системообразующей и жизнеобеспечивающей отраслью государства. Надежность электроснабжения и затраты на электроэнергию существенно влияют на эффективность всех отраслей экономики, в том числе сельскохозяйственного производства. Основными направлениями развития энергетики Республики Беларусь



[1, 2] являются: диверсификация поставщиков топливно-энергетических ресурсов; развитие сектора нетрадиционной и возобновляемой энергетики; максимальное использование местных видов топлива (МВТ), в том числе отходов производства и жилищно-коммунального хозяйства. В сельском хозяйстве особенно актуален вопрос использования МВТ и отходов производства. Это связано с особенностями сельскохозяйственного производства, где образуется большое количество отходов, которые можно использовать в качестве топлива или биомассы для получения биогаза, с последующим использованием для выработки электрической и тепловой энергии [3].

Перспективным направлением развития электроснабжения сельского хозяйства является распределенная генерация энергии множественными источниками, объединенными в единую энергосеть на базе централизованной сети. Это позволит улучшить надежность электроснабжения, снизить затраты на электроэнергию, повысить эффективность эксплуатации генерирующих установок, использующих различные источники энергии, в том числе, прямую солнечную энергию, биотопливо, ветер и т.д.

Развитие систем электроснабжения с распределенной генерацией энергии согласуется с Комплексным прогнозом научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 года [4]. В соответствии с [4] перспективным направлением развития энергетики, в частности, является распределенная генерация энергии множественными источниками малой и средней мощности, расположенными непосредственно у потребителей энергии и объединенными в единую «умную» энергосеть (Smart Grid).

Основной проблемой масштабного использования распределенной генерации энергии является сложность управления энергосистемой, что обусловлено проблемой интеграции в централизованную сеть множества источников малой и средней мощности. Это связано с нестабильной работой установок, использующих прямую солнечную энергию и ветер, необходимостью контроля активной мощности всех источников и согласования с графиком энергопотребления, усложнением диспетчеризации и учета электроэнергии. Для решения проблемы необходимо решить комплекс вопросов: совершенствование тарифной политики и правового обеспечения; развитие приборной базы для создания автоматизированных информационно-измерительных систем учёта электроэнергии; создание программного обеспечения, и так далее.

Создание программных комплексов для управления энергосистемой с распределенной генерацией энергии множественными источниками требует разработки соответствующей модели. Изучение условий эксплуатации и характеристик различных энергоблоков показало, что энергетическая система с большой долей АЭС и ТЭЦ требует более детального моделирования режимов работы генерирующего оборудования [5]. Причем с увеличением доли установок, использующих возобновляемые источники энергии, данные требования ужесточаются. При большой доле возобновляемых источников энергии в структуре генерирующих мощностей необходимо обеспечить поддержание баланса мощности для каждого часа, то есть работу энергосистемы следует рассчитывать, используя почасовой график нагрузки вместо распространенных методик моделирования по кривой продолжительности нагрузки. При этом может быть использован программный пакет SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных), а для моделирования и управления системой может быть использован, например, мультиагентный подход [6]. При мультиагентном подходе каждый объект электроэнергетического комплекса (трансформатор, линия, подстанция) может быть представлен некоторым агентом, то есть программно-технической единицей, обладающей интеллектом, благодаря возможности обучения, и способной к взаимодействию с такими же элементами системы для принятия решений по управлению. Взаимодействие агентов является ключевым аспектом, так как Smart Grid подразумевают передачу информации параллельно энергии [6].

Создание и использование цифровых технологий в виде интеллектуальных иерархических систем управления позволит [4]: проводить оценку работы сети в различных режимах работы; управлять активными элементами сети и электроустановками потребителей; в режиме реального времени менять топологические параметры сети; автоматизировать работу системообразующих, магистральных, межгосударственных электросетей. В Smart Grid создаются условия для использования децентрализованных и возобновляемых источников электроэнергии, а также источников генерации у потребителей.

#### Список используемых источников

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21501084&p1=1>. – Дата доступа: 20.10.2021.

2. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>. – Дата доступа: 20.10.2021.

3. Герасимович, Л. С. Методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием местных ресурсов / Л.С. Герасимович, О.Л. Сапун, А.В. Синенький // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2019. Т. 57. № 1. С. 93–109.

4. Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. Том 2 / под ред. А.Г. Шумилина. – Минск: ГУ «БелИСА», 2020. – 752 с.

5. Михалевич, А.А. Моделирование работы Белорусской энергосистемы с учетом ввода АЭС / А.А. Михалевич, В.А. Рак. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1, с. 5–14.

6. Макаров, Я.В. Совершенствование принципов мультиагентного подхода к моделированию элементов электротехнических комплексов и систем нефтяной отрасли : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Я.В. Макаров. – Самара, 2016. – 139 л.

**Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Гаель И.А., Зыкун А.С.,  
Плискевич Е.В.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ  
ТОЛИВА И ТБО**

На сегодняшний день, еще не выявлены приемлемые, то есть дешевые и экологически чистые технологии выработки энергии из такого возобновляемого ресурса, как твердые бытовые отходы (ТБО). Учитывая рост количества отходов и бедность Республики Беларусь энергетическими ресурсами, возрастает необходимость в новых методах утилизации ТБО с возможным вовлечением в энергопотенциал путем применения прогрессивных технологий,

заимствованных из опыта других стран, либо созданием собственных технологии переработки ТБО.

В Республике Беларусь общий энергетический потенциал ТБО оценивается в 20–23 млн. т.у.т, из них только 8–10 % перерабатывается и используется в производстве. Ежегодно накапливается 2,4 млн. тонн ТБО с потенциальной энергией 470 тыс. тут. Содержание органического вещества в них составляет 40–75 %, углеводов – 35–40 %, зольность – 40–70 %. Количество горючих компонентов в ТБО равно 50–88 %. Их теплотворная способность – 800–2000 ккал/кг.

Чтобы ТБО из возобновляемых энергетических ресурсов (ВЭР) стали полноценным возобновляемым источником энергии, необходим ряд предварительных технологических операций по выделению из них горючей части и приведению ее в надлежащий вид (пеллеты, брикеты или жидкое топливо).

Охарактеризуем возможности применения местных и альтернативных энергетических источников наиболее приемлемых для применения в АПК, а именно: различные виды биомассы, отходов сельскохозяйственного производства и ТБО.

Основной недостаток сельскохозяйственных отходов как топлива – сложность их сбора, хранения и транспортировки. К тому же они отличаются низкой удельной теплотой сгорания по сравнению с ископаемыми видами топлива. Так, удельная теплота сгорания соломы составляет 14,3 МДж/кг. Для сравнения: сухой древесины – 16,5; мазута – 40,6; этанола – 27; каменного угля – 23,0–34 МДж/кг [1].

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

Анализ существующих методов использования биотоплива показал, что наиболее предпочтительными являются методы термической переработки: сжигание, пиролиз и газификация. Процессы газификации и пиролиза имеют некоторые преимущества по сравнению с прямым сжиганием: уменьшается объем отходящих газов, имеется возможность использовать генераторный газ для получения других видов энергии

Путем газификации можно превратить низкосортное топливо (отходы), содержащее большое количество балласта (влага, зола) и обладающее низкой теплотой сгорания, в высококачественное газообразное топливо (газ с теплотой сгорания от 4 до 20 ГДж/м<sup>3</sup>).

В течение последних десяти лет для сжигания твердых топлив и горючих отходов, кроме традиционных технологий и оборудования, используют простейшие газогенераторные установки типа Пинча, позволяющие проводить двухстадийное сжигание в тонком неподвижном слое с высоким КПД и хорошими экологическими показателями. При этом температура может достигать 1200–1300 °С, что на 100–300 °С выше температуры горения на колосниковой решетке. КПД газификации при этом достигает 90 %.

В качестве наиболее интересных проектов практического применения технологии газификации биомассы необходимо отметить разработку установок для совместной газификации биомассы с отходами пластмассы, текстиля и резинотехнических изделия [3].

На их базе созданы газогенераторы мощностью от 30 до 1000 кВт для сжигания твердых топлив, разработана технология и оборудование для совместного сжигания торфа (или сопрапеля) и горючих органических отходов. Сущность этого способа заключается в том, что при совместном сжигании, например, торфа и изношенных автопокрышек образующийся диоксид серы связывается золой торфа с образованием сульфата кальция ( $\text{CaO} + \text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$ ), что приводит к значительному снижению выбросов летучих соединений серы в атмосферу.

При совместном сжигании с торфом наблюдается полное сгорание кусков изношенных шин, в том числе технического углерода – сажи; каждый процент добавки изношенных шин к торфу повышает теплоту сгорания топлива на 210 кДж/кг. Использование газогенератора предложенной конструкции в виде топочного устройства с модифицированной колосниковой решеткой позволяет повысить эффективность и экологическую безопасность сжигания отработанных резинотехнических изделий.

Проведены испытания по газификации древесных отходов, торфа и их смесей с полиэтиленовой пленкой и резинотехническими изделиями, на газогенераторных установках е типа Пинча мощностью 70 и 150 кВт при этом наблюдается повышение температура в жаровом канале в среднем на 150–200 °С и соблюдаются экологические нормы безопасности [4].

Однако в ходе проведения эксперимента возникали трудности по способу добавления горючих отходов к основному виду топлива. Как следствие, в настоящее время рассматриваются возможности и целесообразность варианта обогащения местных видов топлива го-

рючими добавками на стадии производства пеллетов. С последующей доработкой конструкции газогенератора.

#### Список использованных источников

1. Соловьев В.Н. Отработка элементов газификации местных видов топлива органических отходов в обращенном режиме / В.Н. Соловьев, Л.М. Бида // Минск. – 2003.
2. Табиб М.М. Термическая утилизация твердых бытовых отходов/ М.М. Табиб // Энергетика и ТЭК. – 2014. – №2. – С. 20–23.
3. Патент а 20061077 «Способ утилизации резинотехнических изделий».
4. Патент № 12884 «Устройство для сжигания полимерных отходов».

**Лиханов В.А., д.т.н., профессор, Лопатин О.П., д.т.н., доцент  
Вятский государственный агротехнологический  
университет, Киров, Россия  
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ,  
РАБОТАЮЩИХ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ**

В Вятском государственном агротехнологическом университете на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования мощностных и экономических показателей высокооборотных тракторных дизелей малой размерности Д-240 (4Ч 11,0/12,5) для работы на газомоторном топливе (80 % природный газ, 20 % дизельное топливо), метаноло-топливной эмульсии (МТЭ) и этаноло-топливной эмульсии (ЭТЭ); Д-245.12С (4ЧН 11,0/12,5) с турбонаддувом, Д-245.7 (4ЧН 11,0/12,5) с охлаждением наддувочного воздуха для работы на газомоторном топливе; Д-21А1 (2Ч 10,5/12,0) для работы на метаноле и метиловом эфире рапсового масла (МЭРМ) [1].

На рисунке 1 представлены нагрузочные характеристики эффективных показателей дизелей, работающих на газомоторном топливе. Применение в дизеле газомоторного топлива приводит к увеличению содержания в отработавших газах (ОГ) оксидов азота [1], поэтому для устранения этого недостатка дополнительно к газомоторному топливу в исследуемом дизеле была применена рециркуляция отработавших га-

зов (EGR). Замещение дизельного топлива высокооктановым топливом (у природного газа октановое число 108) снижает склонность к самовоспламенению, но после воспламенения запальной порции дизельного топлива  $G_{ДТ\text{ зап}}$  скорость горения газомоторного топлива выше, что и предопределяет рост эффективного КПД  $\eta_e$ .

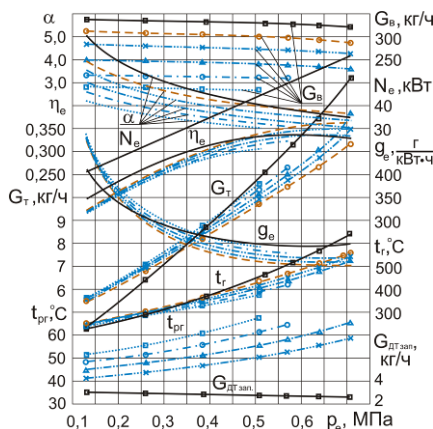


Рисунок 1. Нагрузочные характеристики мощностных и экономических показателей работы тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5;

- - дизельное топливо; — - газомоторное топливо;
- ..... - газомоторное топливо с EGR 10%;
- ..... - газомоторное топливо с EGR 20%;
- ..... - газомоторное топливо с EGR 30%;
- ..... - газомоторное топливо с EGR 40%

На рисунке 2 представлены нагрузочные характеристики эффективных показателей дизеля, работающего на спирто-топливных эмульсиях. Анализируя эффективные параметры работы дизеля на спирто-топливных эмульсиях следует отметить, что происходит сохранение мощностных показателей и соответствие их значениям дизельного процесса, при этом увеличивается часовой расход топлива  $G_T$  и удельный эффективный расход топлива  $g_e$ .

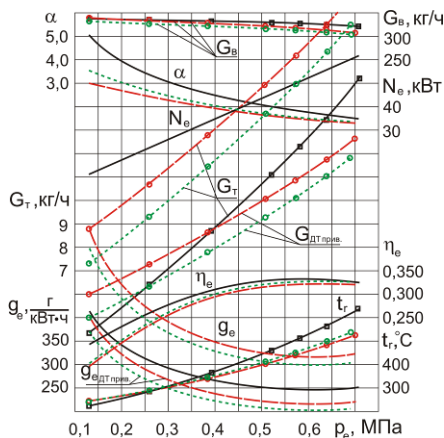


Рисунок 2. Нагрузочные характеристики мощностных и экономических показателей работы тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5:

— - дизельное топливо; - - - МТЭ; ····· - ЭТЭ

На рисунке 3 представлены нагрузочные характеристики эффективных показателей дизеля, работающего на метаноле и МЭРМ.

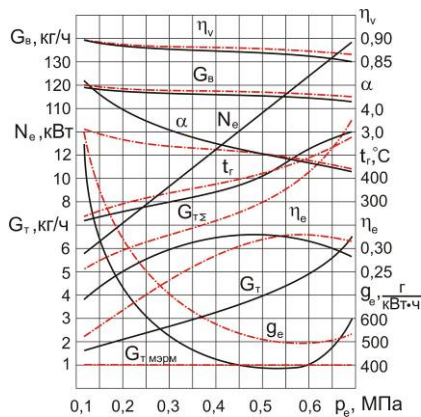


Рисунок 3. Нагрузочные характеристики мощностных и экономических показателей работы тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0:

— - дизельное топливо; - - - метанол и МЭРМ

Рассматривая значения мощностных и экономических показателей дизеля необходимо выделить увеличение суммарного расхода метанола и метилового эфира в сравнении с расходом дизельного топлива на всём диапазоне изменения нагрузки.



**Вывод.** По результатам проведенных лабораторно-стендовых исследований нагрузочных рабочих процессов высокооборотных дизелей малой размерности, работающих на газомоторном топливе, спирто-топливных эмульсиях, метаноле и МЭРМ получены важные сведения о часовом и удельном расходах топлива, расходе воздуха, коэффициентах наполнения и избытка воздуха, эффективного КПД и мощности, температуры ОГ. При этом установлены зависимости влияния режимов работы дизелей на характеристики мощностных и экономических показателей и определены их числовые значения.

Список используемых источников

1. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Methodology of research and testing of internal combustion engines // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 919. – 2020. – 032011.

**Лопатин О.П., д.т.н., доцент**  
**Вятский государственный агротехнологический**  
**университет, Киров, Россия**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ В ДИЗЕЛЯХ,**  
**РАБОТАЮЩИХ НА БИОТОПЛИВЕ**

В Вятском государственном агротехнологическом университете на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены экспериментальные исследования тракторных дизелей на биотопливах следующих составов: спирто-топливные эмульсии (СТЭ): спирт (метанол, этанол) – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7,0 %, дизельное топливо – 67,5 %; метанол 88,0 % и метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ) – 12,0 % [1].

На рисунках 1 и 2 представлена динамика тепловыделения дизелей, работающих на биотопливе, в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала (ПКВ).

Применение СТЭ приводит к увеличению скорости активного тепловыделения ( $dx/d\varphi$ ) и сдвигает максимум скорости вправо от ВМТ. Также необходимо отметить, что наличие второго максимума на кривых скорости активного выделения тепла  $dx/d\varphi$ , как по дизельному процессу, так и на СТЭ, характеризуется величиной дополнительной турбулизации топливо-воздушной смеси в камере сгорания дизеля, возникающей вследствие засасывания рабочего заряда из камеры сгорания в надпоршневое пространство в процессе расширения.

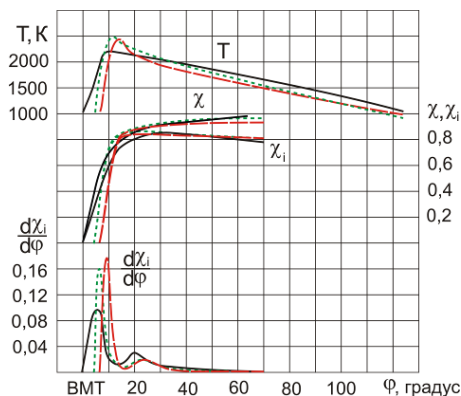


Рисунок 1. Характеристики тепловыделения тракторного дизеля 4Ч11,0/12,5 в зависимости от изменения угла ПКВ:

— дизельное топливо; - - - ЭТЭ; - - - МТЭ

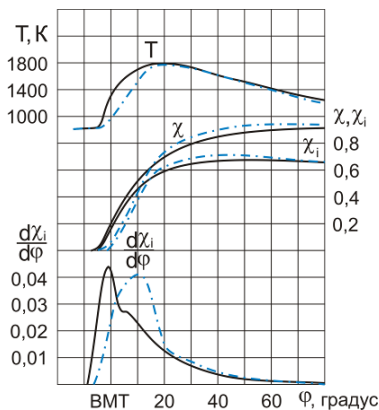


Рисунок 2. Характеристики тепловыделения тракторного дизеля 2Ч10,5/12,0 в зависимости от изменения угла ПКВ:

— дизельное топливо; - - - метанол и МЭРМ

Из графиков (рис. 2) видно, что в результате применения метанола и МЭРМ несколько изменяется характер кривой скорости тепловыделения и осреднённой температуры газов в цилиндре, следовательно, можно говорить об изменении показателей процесса. Представленные кривые тепловыделения наглядно доказывают, что применение метанола и МЭРМ не приводит к ухудшению полноты сгорания, поскольку максимальное значение полного тепловыделения ( $\chi$ ) соответствует значениям дизельного процесса, а максималь-

ная величина активного тепловыделения ( $\chi_i$ ) при работе на метаноле и МЭРМ их превышает.

На рисунке 3 представлены характеристики тепловыделения тракторного дизеля, работающего на биотопливе, на различных скоростных режимах работы. Анализируя рисунок 3 следует отметить, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала растут значения угла при максимальной температуре цикла  $\varphi_{Tmax}$  как при дизельном процессе, так и при работе на СТЭ. Однако применение СТЭ вызывает отличительный от дизельного процесса характер протекания кривых скорости активного тепловыделения  $(d\chi_i/d\varphi)_{max}$ . Это обусловлено низкими значениями цетанового числа применяемых спиртов, что естественно увеличивает ПЗВ. Но необходимо отметить, что в то же время этанол и метанол обладают высокими октановыми числами, что не может не сказаться на скорости горения и тепловыделения.

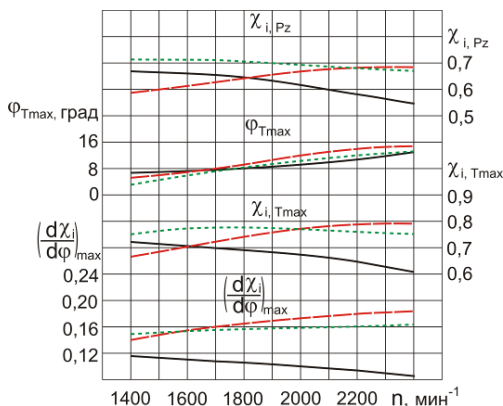


Рис. 3. Характеристики тепловыделения тракторного дизеля 4C11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения

— дизельное топливо; --- ЭТЭ; --- МТЭ

**Вывод.** На основании проведенных исследований показателей тепловыделения тракторных дизелей, работающих на биотопливе, установлены зависимости влияния их режимов работы на характеристики тепловыделения и определены их числовые значения.

#### Список используемых источников

1. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Features of the development of fuel flares when running diesel on alcohol // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 919. – 2020. – 062004.

**Нефедов С.С., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», г. Минск**  
**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ**  
**КОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК**  
**С КОНЦЕНТРАТОРНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Применение концентраторов солнечного излучения совместно с системой вторичных отражателей позволяет повысить эффективность солнечных установок. При этом анализ существующих установок [1-3] показал, что существенное влияние на их КПД оказывают такие явления, как косинусный и межжалюзийные эффекты (блокировка, затенение, пропускание световых лучей). Одним из способов снижения влияния перечисленных факторов и повышения эффективности работы солнечной установки является оптимизация ее геометрической конфигурации.

На основании проведенных исследований предложена конструкция солнечной установки с параболоцилиндрическим концентратором и многоугольным жалюзийным гелиостатом, представленная на рисунке 1.

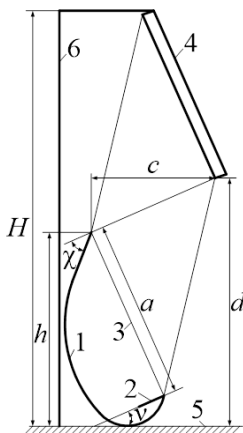


Рисунок 1 – Схема установки с параболоцилиндрическим концентратором и многоугольным жалюзийным гелиостатом:

- 1 – асимметричный параболоцилиндрический концентратор;
- 2 – приемник излучения; 3 – входная поверхность концентратора;
- 4 – сменная рама с системой многоугольных жалюзи;
- 5 – плоскость горизонта; 6 – опорная рама.

Особенностью данной установки является размещение рамы с многоугловым жалюзийным гелиостатом над концентратором параллельно его входной плоскости.

Расстояние  $d$  от нижней точки рамы с многоугловым гелиостатом до плоскости горизонта, м:

$$d = h + \sin v \cdot \frac{a}{\operatorname{tg} \chi} \quad (1)$$

где  $h$  – высота параболоцилиндрического концентратора, м;

$v$  – угол наклона плоскости фокуса концентратора к плоскости горизонта, град;

$a$  – высота входной поверхности концентратора, м;

$\chi$  – угол раскрытия концентратора, град.

Расстояние  $c$  от верхней точки концентратора до нижней точки рамы с многоугловым гелиостатом по горизонтали, м:

$$c = \cos v \cdot \frac{a}{\operatorname{tg} \chi} \quad (2)$$

Высота  $H$  установки с концентратором и гелиостатом, м:

$$H = d + \frac{a}{\cos v} \quad (3)$$

Главными преимуществами предложенной геометрической конфигурации являются: снижение влияния явлений блокировки и пропускания солнечных лучей на эффективность за счет оптимизации размеров и расстояния между жалюзи гелиостата; устранение явления затенения концентратора за счет размещения гелиостата выше его верхней точки; повышение надежности и облегчение эксплуатации за счет отсутствия следящей системы и системы управления жалюзи гелиостата.

Использование такой геометрической конфигурации позволит повысить КПД установки, увеличить время работы концентратора в суточном и годовом режиме работы, повысить суммарную выработку электроэнергии в год.

#### Список использованных источников

1. Кивалов, С.Н. Применение концентрирующих систем для фотоэлектрического преобразования солнечного излучения / С.Н. Кивалов, Р.А. Захидов // Гелиотехника. – 2001. – № 3. – С. 66–78.

2. Стребков, Д.С. Солнечные концентраторные технологии для энергообеспечения зданий / Д.С. Стребков [и др.] // Гелиотехника. – 2002. – № 3. – С. 64–68.

3. Базарова, Е.Г. Повышение эффективности использования солнечной энергии в энергетических установках с концентраторами: дис. канд. техн. наук: 05.14.08 / Е.Г. Базарова. – М., 2008. – 142 с.

4. Филиппченкова, Н.С., Стребков Д.С. Неследящие солнечные концентраторные модули с жалюзийными гелиостатами / Н.С. Филиппченкова, Д.С. Стребков // Возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и X научной молодежной школы: сборник / Под ред. С.В. Киселевой. – М.: Университетская книга, 2016. – С. 335–341.

**Попкова Н.А.**

**УО «Белорусский национальный технический университет»,**

**Минск, Республика Беларусь**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В итогах 26-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата в Глазго, которая проходила в ноябре 2021, были приняты соглашения по ряду мер, которые ставят перед собой задачу сокращения уровня выбросов парниковых газов до приемлемых значений, как в долгосрочной, так и в краткосрочной перспективах. Известно, что основным источником загрязнения атмосферы является топливно-энергетический комплекс, поэтому диверсификация первичных энергетических ресурсов позволяет не только достигать высокого уровня энергетической безопасности, но и снижать выбросы парниковых газов в атмосферу в активной фазе эксплуатации энергетических установок.

Для Республики Беларусь вопрос энергетической безопасности стоит довольно остро на протяжении всей истории существования страны. В силу особенностей географического положения и климатических условий, в Беларуси отсутствует возможность самостоятельного обеспечения энергетической отрасли топливными ресурсами в полном объеме.

В Республике Беларусь в настоящее время функционируют 108 ветроэнергетических установок (ВЭУ). В таблице 1 приведена информация о номинальной мощности установок, средней экономии условного топлива, суммарном снижении выбросов парниковых газов, обусловленных их работой и рассчитанный коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) [1]. КИУМ представляет собой отношения выработанной электрической мощности установкой за год к номинальной мощности самой установки. Чем выше значение КИУМ, тем эффективнее работает установка, и тем ниже ее срок окупаемости. Для удобства, все действующие ВЭУ в Республике Беларусь были скомпонованы по величине установленной мощности.

Таблица 1 – Действующие ВЭУ на территории Республики Беларусь

| Установленная мощность ВЭУ, МВт | Количество ВЭУ, шт | Средняя экономия условного топлива, т у.т./год | Снижение выбросов парниковых газов, т/год | КИУМ, % |
|---------------------------------|--------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| до 0,5                          | 15                 | 81,192                                         | 9796,8                                    | 21,89   |
| от 0,5 до 1                     | 26                 | 338,62                                         | 124853,89                                 | 35,04   |
| от 1 до 1,5                     | 25                 | 569,11                                         | 74882,4                                   | 35,24   |
| от 1,5 до 2                     | 35                 | 605,09                                         | 113468,72                                 | 35,25   |
| от 2 до 3,5                     | 7                  | 895,41                                         | 29965,44                                  | 35,27   |
| Итого:                          | 108                | 2489,42                                        | 352967,25                                 |         |

Из таблицы 1 видно, что действующие на территории страны ВЭУ характеризуются достаточно высоким для своего класса КИУМ. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (англ. IRENA) среднее значение КИУМ для ВЭУ в мире составляет 35 %, в отдельных точках на карте мира данное значение вплотную приближается к отметке в 40 % [2]. Высокое значение КИУМ обусловлено несколькими факторами:

1. От характеристик ветра на высоте гондолы ветроэнергетической установки. Скорость ветра находится в прямой зависимости от барического градиента, поэтому скорость ветра изменяется в соответствии с изменением барического градиента. От скорости ветра в свою очередь, зависит и его сила.

2. От характеристик подстилающей поверхности около ВЭУ. Чем меньше шероховатость поверхности, и чем меньше естественных и инженерных преград на пути ветрового потока, тем выше будет выработка ВЭУ.

3. Характеристиками оборудования ВЭУ. С течением времени технологии и материалы, применяемые при строительстве ВЭУ эволюционируют, снижая затраты и увеличивая мощность, а значит и производительность энергетических установок.

Территория Республики Беларусь, несмотря на отсутствие высоких гор и возвышенностей, обладает высоким ветровым потенциалом, что позволяет развивать данное направление энергетики.

С точки зрения экономии топливных ресурсов, ветроэнергетика может позволить частично ослабить зависимость от иностранных государств, ведь, как и любая другая технология, основанная на местных видах топлива, при эксплуатации подобных установок нет необходимости закупки углеводородов, что снижает финансовое давление на государство в целом

Если принять для перевода в тонны условного топлива для природного газа переводной коэффициент 1,154 [3], то согласно таблице 1, ежегодно Республика Беларусь экономит 305864,168 тыс. м<sup>3</sup> природного газа только за счет работы своих ветропарков и отдельностоящих установок. Если принять во внимание, что потенциал территории страны позволяет построить более 100 МВт новых ветропарков с высоким значением КИУМ, что позволит экономить еще больше углеводородного топлива.

При использовании ветроэнергетики в составе электроэнергетической системы возникает ряд задач, связанных с управлением и планированием режима работы генерирующего оборудования, так как работу ВЭУ сложно преугодать в долгосрочной перспективе.

Таким образом ветроэнергетика способна повысить энергетическую безопасность страны и уменьшить топливную составляющую в экономическом балансе, а высокие показатели эффективности уже существующих генерирующих установок указывают на перспективность применения ВЭУ на территории Республики Беларусь.



#### Список использованных источников

1. Кадастр возобновляемых источников энергии Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.239/Cadastr/Map>. – Дата доступа: 16.11.2021.
2. Статистика Американской ветроэнергетической ассоциации. Clean Power Quarterly Report Q1 2021 – [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://cleanpower.org/resources/clean-power-report-q1-2021/>. – Дата доступа: 16.11.2021.
3. Саморегулируемая организация в области энергетического обследования (СРО-Э-150) НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО «МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ АЛЬЯНС ЭНЕРГОАУДИТОРОВ» – Режим доступа: <https://sro150.ru/metodiki/269-spravochnik-koeffitsientov-dlya-perescheta-v-tonny-uslovnogo-topliva-t-u-t>. – Дата доступа: 16.11.2021

**Родионов А.В., аспирант, Зайцев А.А., к.ф.-м.н., доцент  
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец  
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ  
ТЕРМОЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

Современные термоэлектрические генераторы (ТЭГ) по своей эффективности преобразования практически становятся конкурентами традиционным энергоустановкам на органическом топливе. При этом системы термоэлектрического преобразования могут размещаться непосредственно у потребителя, что позволяет отказаться от электрических и тепловых сетей с соответствующим сокращением эксплуатационных затрат. Преимуществом ТЭГ является возможность использования сбросного тепла промышленных вентиляционных выбросов, а также энергии, выделяемой при брожении отходов сельскохозяйственного производства.

Сотрудниками лаборатории «Физика неравновесных процессов» Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина под руководством проф. Грабова В.М. был экспериментально исследован новый, предсказанный ранее [1], класс перекрестных явлений в вязких электропроводящих средах при действии трех термодинамических сил и наличии переноса массы, внутренней энергии и электрического заряда. Указанные перекрестные явления названы термоэлектрокинетическими.

Один из эффектов состоит в формировании термоэлектродвижущей ЭДС, обусловленной одновременно наличием переноса массы и переноса внутренней энергии (наличием градиента температуры). Протекание данного явления экспериментально исследовано в целом ряде ионных соединений, а затем и в коллоидных растворах [2].

Экспериментальная установка представляет собой U-образную трубку, заполненную электропроводящим раствором, вдоль которой создается градиент температуры. Ток жидкости формируется перепадом давления или с помощью перистальтического насоса.

Указанная система является, по сути, аналогом твердотельного термоэлектрического элемента на основе p-n-перехода. В термоэлементе происходит течение электролита с различающимися по подвижности положительными и отрицательными ионами. Верхние и нижние концы трубки находятся при разных температурах, в одном из колен трубки скорость течения жидкости совпадает по направлению с градиентом температуры, а в другом эти направления противоположны. В одном колене потоки ионов направлены по течению электропроводящей жидкости, а в другом – против. Происходит разделение зарядов, формируется термоэлектродвижущая сила, возникает термоэлектродвижущий эффект. При разности температур верхнего и нижнего концов трубки 20 К максимальное значение электродвижущей силы достигается при скорости течения жидкости около 0,3 мм/с, и составляет порядка 1 мВ.

Предлагается следующая модернизация установки: последовательное соединение U-образных трубок (термоэлементов). При этом образуется конструкция, изображенная на рисунке 1, представляющая собой спираль.

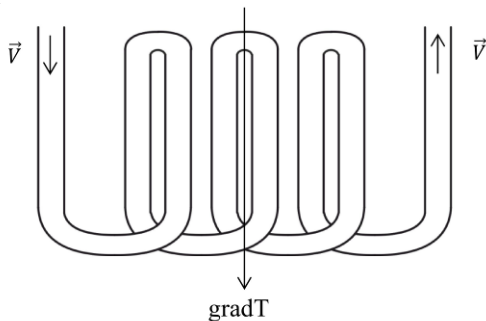


Рисунок 1 – Термоэлектрический преобразователь

В Федеральную службу по интеллектуальной собственности подана заявка на изобретение: «Термоэлектрическая батарея, характеризующаяся последовательным соединением термоэлектрических элементов, отличающаяся тем, что батарея выполнена в виде электрической трубки спиральной конструкции, каждый виток которой является термоэлементом, в витках которой сформирован градиент температур и осуществляется ток электролита с большой разностью подвижностей положительных и отрицательных ионов». Получено решение о выдаче патента.

Предложенная конструкция при достаточном большом количестве витков спирали (не менее  $10^3$  шт), может быть использована в качестве нетрадиционного источника энергии с величиной ЭДС в единицы вольт, перспективного для использования в АПК. В качестве источника тепловой энергии может выступить, например, компостированная смесь экскрементов крупного рогатого скота, самонагрев которой в аэробных условиях достигает 65–70 °С [3]. Таким образом достигается относительно небольшая разность температур, в то же время, достаточная для формирования необходимой термоэлектрокинетической ЭДС. Известные конструкции термоэлектрических генераторов работают, как правило, на перепадах температур значительно превышающих десятки градусов. Предложенные ранее термогенераторы, использующие нетрадиционные источники энергии с малым рабочим перепадом температур, например, формируемым за счет тепловых процессов в почвах, не нашли широкого применения [3].

Проведены исследования на прототипе батареи, содержащем два витка спирали – две последовательно включенные U-образные трубки. Выполняется математическое моделирование процессов тепло-, массопереноса в трубках с целью определения КПД преобразователя и оптимальных температурных режимов.

#### Список использованных источников

1. Грабов, В.М. Термоэлектрокинетические и термоэлектромагнитные явления в условиях, далеких от термодинамического равновесия / В.М. Грабов // Термоэлектричество. – 2005. – № 2. – С. 45–53.
2. Сидоров, А.В. Термоэлектрические и термоэлектрокинетические явления в коллоидных растворах / А.В. Сидоров, В.М. Грабов, А.А. Зайцев, Д.В. Кузнецов // ФТП. – 2019. – Т. 53. – № 6. – С. 765–769.

3. Миронов, В.В. Влияние активной аэрации на интенсивность протекания биотермических процессов в компостируемой смеси / В.В. Миронов, В.Д. Хмыров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8. – № 4. – С. 668–672.

4. Анатычук, Л.И. Термогенераторы, использующие тепловые процессы в почвах / Л.И. Анатычук, П.Д. Микитюк // Термоэлектричество. – 2003. – № 3. – С. 91–100.

**Селюк Ю.Н., Бондарчук О.В., Дубкова А.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА,**  
**ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ**  
**ЭНЕРГИИ (ВИЭ)**

Существующие технологии и оборудование для выработки электрической и тепловой энергии на базе ВИЭ отличается достаточно низкой эффективностью и высокой стоимостью. Кроме того, генерация энергии в большинстве случаев осуществляется крайне неравномерно, так как поступление, в частности, солнечной и ветровой энергии изменяется в широких пределах (вплоть до полного прекращения). В связи с этим использование одного вида ВИЭ, как правило, не позволяет обеспечить требуемую надёжность и качество энергоснабжения даже при наличии аккумуляторов энергии.

Следовательно, наиболее целесообразным для изолированных маломощных потребителей является комплексное использование ВИЭ, т. е. одновременное преобразование в электрическую и тепловую энергии нескольких возобновляемых источников. реализация этого подхода возможна при создании соответствующих установок – энергетических комплексов, включающих, помимо собственно генерирующих установок, системы защиты и управления, а также аккумуляторы энергии. При этом составные элементы указанного комплекса располагаются компактно и в непосредственной близости от объекта энергоснабжения. Между компонентами энергокомплекса организуются различные виды связей как по энергетическим, так и по управляющим

(информационным) каналам. При этом генерирующие установки работают совместно на электрический и тепловой вводы потребителя, режимы их работы устанавливаются общей системой управления. Кроме того, реализуется также единая система защиты оборудования энергокомплекса от аварийных режимов, которая также обеспечивает выдачу управляющих сигналов на перераспределение нагрузок. В случае необходимости система управления компенсирует недостаток энергии за счёт использования аккумулирующих устройств.

Энергетические комплексы, использующие ВИЭ, являются достаточно сложными многокомпонентными системами. Наиболее важным вопросом при их разработке является оптимизация состава энергогенерирующего оборудования. Это связано с достаточно высокими затратами на приобретение генерирующих установок и значительной вариативностью потенциала энергоисточников. Поступление энергии от возобновляемых источников имеет в основном случайный характер, что серьёзно затрудняет оценку энергетического потенциала ВИЭ – одного из определяющих критериев выбора компонентов энергокомплекса. Указанное обстоятельство приводит к необходимости формирования большого количества вариантов комплектации энергокомплексов для различных ВИЭ. При этом значительно усложняется задача рационального выбора оптимального состава оборудования энергетического комплекса.

Вопросы оптимального выбора компонентов энергокомплекса на базе ВИЭ рассмотрены в работах ряда авторов [1, 2]. Однако изложенные методы оптимизации являются достаточно сложными, а также не в полной мере учитывают различные критерии выбора оборудования. С учётом характерных особенностей формирования и функционирования указанных энергокомплексов перспективным представляется использование для оптимизации их состава метода обобщённой желательности (функции желательности Харрингтона) [3]. Указанная функция предложена для описания частных критериев и возможных ограничений, возникающих в процессе решения многокритериальных задач. Она устанавливает соответствие между физическими значениями показателей и субъективными (по мнению эксперта или лица, принимающего решения) оценками их желательности или «ценности». При этом

каждому параметру или критерию присваивается отдельная частная функция желательности. предварительно формируется перечень указанных критериев или частных параметров оценки, которые могут быть как количественными, так и качественными. Затем для каждого параметра устанавливаются границы допустимых значений на основании объективной или субъективной (экспертной) информации. После этого возможен расчёт значений частных функций и определение обобщённого критерия (функции желательности) как среднего геометрического указанных функций. В качестве оптимального выбирается вариант с наибольшим значением обобщённой функции желательности (как и у частных функций, интервал возможных значений составляет от 0 до 1).

При формировании состава энергокомплекса, использующего ВИЭ, возможно использование различных частных критериев (показателей). В общем случае они могут быть техническими, энергетическими, экономическими, экологическими и т.д. и характеризоваться количественными либо качественными значениями. Однако желательно использовать наиболее типичные критерии, характерные для большинства вариантов комплектации указанных энергокомплексов. Это позволит выполнять сопоставление и поиск оптимального состава оборудования при заданных условиях функционирования. В частности, в качестве критериев возможно использование следующих: максимальная и номинальная электрическая (тепловая) мощность; среднегодовая выработка электрической (тепловой) энергии; затраты на приобретение, монтаж и обслуживание; масса; коэффициент надёжности и др. Перечисленные критерии могут быть удельными и иметь одно- или двухсторонние ограничения.

Выбор и расчёт частных функций желательности для оптимизации состава энергокомплексов, использующих ВИЭ, является задачей дальнейших исследований.

#### Список использованных источников

1. Эффективное использование возобновляемых источников энергии для автономного теплоснабжения различных объектов: монография / Н.Д. Шишкин. – Астрахань : Издательство АГТУ, 2012. – 207 с.

2. Елистратов, В.В. Моделирование режимов работы энергетического комплекса ВЭС-ГЭС/В. В. Елистратов,

А.В. Виноградова// Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 09-10. – С. 19–23.

3. Ахназарова, С. Л. Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизационных задач химической технологии. Учебно-методическое пособие/ С.Л. Ахназарова, Л.С. Гордеев. – Москва: РТХУ, 2003. – 76 с.

**Синица С.И., ст. преподаватель,  
Клинцова В.Ф., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ЗЕЛЕННЫЕ РАСТЕНИЯ – СЫРЬЕ ДЛЯ БИОГАЗОВЫХ  
УСТАНОВОК**

Подавляющее большинство зеленых растений обеспечивает исключительно высокий выход биогаза. Множество европейских биогазовых установок функционируют на кукурузном силосе, так как кукурузный силос, полученный с 1 га, позволяет выработать 7800–9100 м<sup>3</sup> биогаза, что соответствует: 5850–6825 м<sup>3</sup> природного газа, 4758–5551 кг бензина, 5616–6552 кг мазута, 11544–13468 кг дров.

Около 290–490 м<sup>3</sup> биогаза дает тонна различных трав, при этом особенно высоким выходом отличается клевер – 430–490 м<sup>3</sup>, тонна картофельной ботвы способна обеспечить до 490 м<sup>3</sup>, тонна свекольной ботвы – от 75 до 200 м<sup>3</sup>, тонна отходов, полученных в процессе уборки ржи – 165 м<sup>3</sup>, тонна льна – 360 м<sup>3</sup>, тонна овсяной соломы – 310 м<sup>3</sup>.

Растительные остатки в зависимости от того, остаются ли они после сбора урожая на поверхности почвы или собираются и удаляются с поля вместе с урожаем, делятся на две основные группы. К первой группе относится солома, ко второй – половая шелуха и фруктовая кожура. Во вторую группу входит большая часть отходов, поступающих с перерабатывающих предприятий.

Сезонность образования растительных остатков их наличие определяется временем созревания урожая и зависит от вида сельскохозяйственной культуры, места ее выращивания и климата.

К наиболее используемым растительным субстратам, употребляемым для производства биогаза, относится кукуруза, поскольку

обладает высокой урожайностью и хорошей способностью к биохимическому окислению.

Также она нетребовательна в уходе и может расти в любых климатических условиях и почвах. Кукурузная силосная масса должна содержать не менее 28 % и не более 36 % по сухому веществу [1]. При большой влажности в ней содержится большое количество связанной воды, а при меньшей возрастает количество плохо разлагаемого лигнина и он не может быть утрамбован в необходимой степени, что отрицательно сказывается на его хранении.

Этап «силосования», при котором измельченные части кукурузных отходов трамбуются и изолируются от доступа воздуха, составляет примерно двенадцать недель. После этой процедуры он может быть использован для получения биогаза. В качестве сырья для силоса могут быть использованы как целые стебли, так и кукурузные початки.

В качестве растительного сырья может быть использован силос из цельных зерновых культур, к которым относятся рожь или тритикале (гибрид пшеницы и ржи), используемый в основном как кормовая культура.

Для силосования используют культуру с молочной или молочно-восковой спелостью, иногда может быть применена и переработка зеленой ржи.

Использование зерновых сопряжено с определенными трудностями, связанными с незначительным содержанием сухого вещества и большого количества связанной воды.

По выходу биогаза на тонну сырья силос из кукурузы, травы и зерновых культур находятся примерно на одном уровне, его количество находится на уровне 200 м<sup>3</sup> на тонну использованного сырья [1], а по содержанию в нем метана лидируют кукурузный силос и силос из цельных зерновых культур. Выход биогаза при использовании силоса из кормовой и сахарной свеклы примерно в два раза меньше. Поэтому, для добавления к навозу и птичьему помету целесообразнее всего добавлять кукурузное углеводосодержащее сырье. В качестве углеводосодержащего сырья в производстве биогаза может быть использована и силосная масса из травы. Она может быть получена с лугов и пастбищ, а также в ходе однолетнего или же многолетнего севооборота сельскохозяйственных площадей. Но ее недостатком является большое содержание лигнина и превыше-



ние содержания сухого вещества более, чем оптимальные 36 % [1], которые должны быть в силосной массе, используемой в биогазовых установках, а также длиноволокнистая структура, которая может быть причиной образования плавающего слоя в реакторе анаэробного сбраживания и забивания лопастей перемещающих устройств.

В качестве силосной массы может быть использована сахарная свекла, но необходимость очищения от земли, засоряющей емкость реактора биогаза, а также высокая влажность, затрудняющая хранение силосной массы, представляют трудности для ее использования. Чаще всего она применяется в комплексе с кукурузными стеблями и початками [1].

При изготовлении крахмала образуется картофельная мезга, состоящая из картофельной кожуры, клеточных перегородок и клеток крахмала, оставшихся не вскрытыми. На тонну переработанного при изготовлении крахмала картофеля приходится примерно 240 кг картофельной мезги и 760 л клеточного сока. Они могут быть использованы в качестве корма для животных, но более целесообразным является их применение в качестве сырья для биогазовых установок. Это связано с тем, что избыточное использование картофельного сока в виде удобрения может привести к осолонению грунтовых вод, а для подкормки животных может быть применима только незначительная доля образующейся картофельной мезги. Эти материалы являются хорошо сбраживаемыми субстратами, особенно при использовании мезофильных режимов их анаэробной переработки.

При изготовлении сахара из сахарной свеклы образуется меласса и сырой жом, которые могут быть использованы в качестве субстрата для биогазовых установок, благодаря высокому содержанию сахара. Жом, как правило, применяется в смеси с кукурузной силосной массой, а меласса хранится в жидком виде в цистернах и так же используется в смеси с другим органическим сырьем.

Для использования в биогазовых установках подходят отходы, образующиеся при обработке фруктов в соки и винограда в вино. В этом процессе образуется барда и жом из кожуры и клеточного содержимого, которые употребляются для выделения биогаза после его предварительного силосования.

По выходу биогаза лидирует меласса, где он может достигать до  $340 \text{ м}^3$  на тонну сырья, а доля метана в нем – до  $247 \text{ м}^3$ . За мелассой

идут виноградные выжимки, с 270 м<sup>3</sup> биогаза и 182 м<sup>3</sup> метана. Далее следуют яблочные выжимки, где на 150 м<sup>3</sup> биогаза приходится 101 м<sup>3</sup> метана, пивная барда со 130 м<sup>3</sup> биогаза и 112 м<sup>3</sup> метана. [1]

Остальные отходы пищевых производств производят от 50 до 100 м<sup>3</sup> биогаза на тонну сырья, где доля метана колеблется в пределах от 28 до 50 м<sup>3</sup>.

Срезанные и скошенные части растений, обработанные силосованием, также могут быть использованы в качестве субстрата, при этом выход биогаза для них составляет 175 м<sup>3</sup>, с содержанием 10 м<sup>3</sup> метана на тонну используемого сырья [1]. Это сырье обязательно должно быть очищено от веток и камней и применяться в основном в качестве дополнительного источника биогазового сырья.

При выборе сырья необходимо учитывать, что только из органической части сухой массы можно произвести метан. Поэтому отношение сухой органической массы к общей массе является главным критерием для выбора составляющих смеси различных видов сырья. Органическое вещество состоит из протеинов, жиров, а также легко и тяжело разлагаемых углеводов, процентным содержанием которых в сырье определяется выход газа и процент метана в нем. Максимальное его количество в биогазе получается из протеинов – 71 %; жиры дают – 68 %, а углеводы – лишь 50 %. Поэтому, исходя из выхода газа, необходимо смешивать сырье с высоким содержанием жиров и протеинов. [1]

Список использованных источников

1. Режим доступа: [fluid-biogas.com/?page\\_id=129](http://fluid-biogas.com/?page_id=129). – Дата доступа: 31.10.2021.

**Стрикунов А.В., к.т.н., доцент, Войку И.П.**  
**ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет»,**  
**Псков, Россия**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ**  
**В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО**  
**КОМПЛЕКСА ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

По прогнозам Международного энергетического агентства за период 2021–2030 гг. глобальный объем гидрогенерирующих мощностей увеличится на 17 %, или на 229,6 ГВт. 56 % прироста придется

на водохранилищные гидроэлектростанции, 28 % – на гидроаккумулирующие станции, 13 % – на речные ГЭС[1].

Объекты малой гидроэнергетики – малые и микро ГЭС. Эта область энергетического производства занимается применением энергии водных ресурсов и гидравлических систем при помощи гидроэнергетических установок малой мощности (1–3000 кВт).

В настоящее время действующие на территории России малые ГЭС обеспечивают около 2.2 млрд. кВт·ч/год, а их технических потенциал оценивается в 382 млрд. кВт·ч/год [2].



Рисунок 1. Потенциал малых ГЭС в Федеральных округах Российской Федерации, млрд. кВт·ч/год

Несмотря на то, что энергетический потенциал малой гидроэнергетики в Российской Федерации превышает потенциал возобновляемых источников энергии (ветер, солнце и биомасса) вместе взятых, данный вид ресурса используется незначительно.

Схемой и программой развития Единой энергетической системы России за период 2018–2024 гг. предполагается ввод малых ГЭС общей мощностью 120,3 МВт. В энергосистеме Северо-Западного федерального округа планируется сооружение малых ГЭС мощностью 49,8 МВт [3].

На территории Псковской области имеются несколько производителей электроэнергии. На долю Псковской ГРЭС с установленной мощностью 440 МВт приходится около 92 % выработанной в области электрической энергии. Однако, по данным за 2021 год, собственной электрической энергией Псковская область обеспечена только на 0,35 %. Всю вырабатываемую электрическую энергию Псковская ГРЭС реализует на оптовом рынке электрической энергии. Возникающий дефицит электрической энергии осуществляется по линиям электропередачи 330, 110 кВ от смежных энергосистем.

Агропромышленный комплекс, в первую очередь, специализирующийся на животноводстве, является энергозатратной отраслью. Поэтому еще в 50-х – 60-х гг. XX века в рамках электрификации сельского хозяйства был разработан и последовательно осуществлен план строительства каскада гидроэлектростанций на речной системе реки Великой. В регионе было построено около 40 малых ГЭС, способных обеспечивать электричеством близлежащие сельскохозяйственные предприятия. Значительная часть из них проработала до 80-х годов.

На настоящий момент времени Псковскую область собственной выработкой обеспечивают только Шильская и Максютинская ГЭС суммарной установленной мощностью 3,04 МВт. Заброшенные малые ГЭС (Поддубская, Копылковская, Рубиловская, Торошинская, Красногородская, Большехрапская, Краснопорожская) расположены в Пустошкинском, Псковском, Красногородском, Дедовичском и Порховском районах – территориях активного ведения сельского хозяйства.

В настоящее время в Российской Федерации заканчивается период профицита по генерирующим мощностям, начинаются масштабные обновления оборудования крупных ТЭЦ. Это еще больше подстегивает рост стоимости электроэнергии на оптовом рынке.

Постоянный рост цены электроэнергии подталкивает бизнес к поиску новых вариантов стабильного энергообеспечения, в том числе – запуска малых ГЭС.



Рисунок 2. Динамика цен для потребителей, кроме населения, без НДС (руб./кВт\*ч)

Высокий уровень монополизации затрудняет выход на энергетический рынок малых производителей электроэнергии, а отсутствие открытости делает невозможной прямую реализацию электроэнергии конечному потребителю на розничном рынке.

С 2019 года уникальные условия для развития малой гидроэнергетики создают изменения в основных нормативно-правовых актах, регулирующих сферу электроэнергетики [4, 5]:

1. Потребитель электрической энергии свободен в выборе поставщика электрической энергии;

2. На производителя, генерирующая мощность которого составляет не более 25 МВт, не распространяется требование законодательства о реализации электрической энергии только на оптовом рынке;

3. Электроэнергия на розничных рынках продается по свободным нерегулируемым ценам (кроме случаев продажи сетевым организациям для компенсации потерь энергии в объектах электросетевого хозяйства);

4. Гарантирующий поставщик обязан приобрести электроэнергию по ценам, указанным системным оператором.

Таким образом, у реконструируемых и создаваемых малых ГЭС появляется возможность реализации электроэнергии предприятиям агропромышленного комплекса по трем сценариям:

1. Реализация выработанной электроэнергии по ценам ниже рыночных на нужды собственной производственной базы, минуя оптовый рынок.

2. Реализация выработанной электроэнергии по ценам ниже рыночных сторонним потребителям (агропромышленным производствам) по своим сетям.

3. Продажа выработанной электроэнергии сетевой организации для покрытия потерь по высокому тарифу.

4. Гарантированная реализация выработанной электроэнергии через АО «Псковэнергосбыт» (цена выставляется системным оператором и складывается из стоимости кВтч и мощности на розничном рынке).

#### Список использованных источников

1. МЭА: к 2030 году глобальные мощности в гидроэнергетике увеличатся на 17% // Глобальная энергия. 2021. URL: <https://globalenergyprize.org/ru/2021/07/05/mea-k-2030-godu-globalnye-moshhnosti-v-gidroenergetike-uvelichatsya-na-17/> (дата обращения 29.11.2021).

2. Малая гидроэнергетика России и в мире. Развитие малой гидроэнергетики // Дельта-Эко 2019. URL: <https://delta->

eco.ru/problem/malaya-gidroenergetika-rossii-i-v-mire-razvitie-maloj-gidroenergetiki.html (дата обращения 29.11.2021).

3. Развитие малой гидроэнергетики, как одно из направлений энергосберегающей политики России // Акционерное общество «Институт Гидропроект». 2018. URL: <https://www.hse.ru/> (дата обращения 29.11.2021).

4. Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 02.08.2019) «Об электроэнергетике».

5. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 22.06.2019) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

**Цубанов И.А., Цубанова И.А., Карась И.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**  
**НА МОЛОЧНО-ТОВАРНЫХ ФЕРМАХ**

Молочная промышленность является перспективной отраслью агропромышленного комплекса Республики Беларусь. Перед белорусскими производителями поставлена задача расширить ассортимент и увеличить выпуск высококачественных конкурентоспособных молочных продуктов. С этой целью предусматривается система мер, охватывающая все этапы производства молока и молочной продукции, начиная от производства сырого молока и заканчивая переработкой, хранением и доставкой готовой продукции потребителю.

Первостепенное значение при производстве безопасных молочных продуктов имеет качество молочного сырья, которое в значительной мере зависит от санитарно-гигиенических условий получения молока и его первичной обработки на молочно-товарной ферме (МТФ). По органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям сырое молоко должно соответствовать определенным требованиям, позволяющим его использовать как сырье для молочной промышленности.

Получить высококачественное молочное сырье возможно только при обязательном соблюдении на МТФ ветеринарно-санитарных правил. Для соблюдения норм санитарии и гигиены необходимо

обеспечить МТФ достаточным количеством горячей воды на производственные и хозяйственные нужды.

В соответствии с техническими требованиями [1] молоко после доения коров должно быть подвергнуто на ферме первичной обработке: очищено от механических примесей и охлаждено до температуры  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение не более двух часов. Своевременное охлаждение позволяет увеличить продолжительность бактерицидной фазы при условии низкой первоначальной бактериальной обсемененности молока. Молоко в таком состоянии может храниться на МТФ в течение 12–24 часов до вывоза его специализированным транспортом на предприятия молочной промышленности.

Современные тенденции в практике проектирования МТФ традиционно ориентированы на использование закрытых танков с системой непосредственного охлаждения, которые предназначены для сбора, охлаждения и временного хранения молока.

Перспективным представляется использование системы «пластинчатый охладитель–тепловой насос». Охладитель представляет собой комбинированный пластинчатый теплообменник, в состав которого входят секции водяного и рассольного охлаждения. Применение секции водяного охлаждения позволяет снизить потребность в искусственном холоде.

Водопроводная вода после секции водяного охлаждения поступает в конденсатор теплового насоса для отвода теплоты от пара высокотемпературного хладагента. В результате теплообмена вода нагревается и может быть использована в системе горячего водоснабжения МТФ.

После конденсатора жидкий хладагент направляется в терморегулирующий вентиль, а затем поступает в испаритель. В испарителеготавливается ледяная вода, которая затем подается в секцию рассольного охлаждения для окончательного снижения температуры молока до заданного значения. Охлажденное молоко затем поступает на временное хранение в резервуар-термос.

Выполним расчет достигаемого экономического эффекта при замене традиционной системы охлаждения молока системой «пластинчатый охладитель–тепловой насос». В обоих вариантах основным источником теплоты в системе горячего водоснабжения МТФ является электроводонагреватель.

Исходные данные к расчету:

- среднегодовое поголовье дойного стада  $n = 600$ ;
- средний удой молока  $M = 5100$  кг/год;

- число доек  $k = 2$  со средней продолжительностью  $\tau = 2,4$  ч;
- температура сырого молока  $t_1 = 37$  °С;
- температура молока на выходе из секции водяного охлаждения  $t_2 = 18$  °С;
- температура охлажденного молока  $t_3 = 4$  °С;
- удельная теплоемкость молока  $c = 3,94$  кДж/(кг·°С);
- одноставочный тариф на производственные нужды сельхозпотребителей  $C_s = 0,23434$  руб/кВт·ч.

Тепловая мощность секции рассольного охлаждения:

$$\Phi_2 = \frac{cMn(t_2 - t_3)}{3600 \cdot 365k\tau} = \frac{3,94 \cdot 5100 \cdot 600 \cdot (18 - 4)}{3600 \cdot 365 \cdot 2 \cdot 2,4} = 26,8 \text{ кВт.}$$

Тепловой поток  $\Phi_2$  представляет собой теплоту, подводимую к тепловому насосу от теплоисточника низкого потенциала.

При температуре горячей воды на выходе из теплового насоса  $t_r = 45$  °С коэффициент преобразования  $\mu = 3,64$  [2].

Теплопроизводительность теплового насоса:

$$\Phi_1 = \Phi_2 \frac{\mu}{\mu - 1} = 26,8 \frac{3,64}{3,64 - 1} = 37 \text{ кВт.}$$

Годовой расход теплоты на нагрев водопроводной воды:

- в секции водяного охлаждения

$$Q_b = \frac{cMn(t_1 - t_2)}{3600} = \frac{3,94 \cdot 5100 \cdot 600 \cdot (37 - 18)}{3600} = 63631 \text{ кВт·ч;}$$

- в тепловом насосе

$$Q_{\text{тн}} = 365k\tau\Phi_1 = 365 \cdot 2 \cdot 2,4 \cdot 37 = 64824 \text{ кВт·ч.}$$

Экономия электроэнергии на приготовление горячей воды определяется теплотой, производимой системой «пластинчатый охладитель–тепловой насос»:

$$\Delta \mathcal{E} = Q = Q_b + Q_{\text{тн}} = 63631 + 64824 = 128455 \text{ кВт·ч.}$$

При определении экономического эффекта необходимо учесть затраты электрической энергии на привод компрессора теплового насоса:

$$3\mathcal{E} = Q_{\text{тн}} / \mu = 64824 / 3,64 = 17809 \text{ кВт·ч.}$$

Прирост прибыли МТФ при прочих равных условиях определяется экономией энергозатрат:

$$\Delta\Pi = (\Delta\mathcal{E} - 3\mathcal{E})C_s = (128455 - 17809) \cdot 0,23434 = 25929 \text{ руб.}$$



#### Список используемых источников

1. СТБ 1598-2006. Молоко коровье сырое. Технические условия. – Введ. 31.01.2006. – Минск: Госстандарт, 2006. – 14 с.
2. Цубанов, А.Г. К расчету энергоэффективности применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения / А.Г. Цубанов, А.Л. Синяков, И.А. Цубанов // Агропанорама, № 1, 2011. – С. 22–26.

**Чёрная Т.С. к.т.н., доцент, Вьюник О.В., инж.  
Таврический государственный агротехнологический  
университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь,  
Украина  
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ  
АГРЕГАТ**

Наиболее сложными при ремонте средствами механизации в фермерских хозяйствах являются тракторы, автомобили, комбайны и их составляющие: двигатели, коробки перемены передач, редукторы и т.д. Все работы по ремонту начинаются с затягивания машины в помещение мастерской, разборки на отдельные узлы, их мойки и разборки, мойки деталей узлов, дефектовки, ремонта и замены изношенных деталей, сборки узлов, их обкатки, покраски и сборки всей машины, ее окрашивания и обкатки [1].

При ремонте сельскохозяйственной техники, связанный с необходимостью разборки отдельных сложных узлов, используют различные стенды для облегчения условий труда. Примером таких стендов могут быть простые и надежные приспособления для разборки и сборки коробок перемены передач, двигателей. Общим недостатком этих стендов является то, что для установки на них узлов нужен грузоподъемный механизм и поворот узлов производится за счет использования энергии мышц.

Завершающим этапом ремонта узлов машин является их обкатка и испытание. Для обкатки и испытания двигателей разработаны обкатно-тормозные стенды, которые выполняются, в основном по схеме, приведенной на рисунке 1. Общий недостаток вышперечисленного оборудования – узкая специализация.

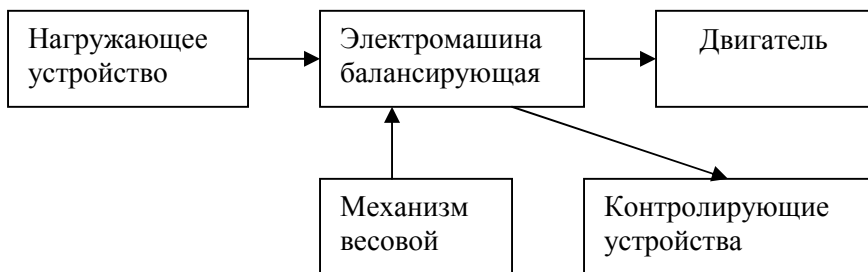


Рисунок 1 – Технологическая схема стенов для обкатки и испытания двигателей

В связи с этим, разрабатываемый агрегат должен быть многофункциональным и ресурсосберегающим, который позволил бы выполнять такие операции: как затягивание машины в помещение, снятие с нее отдельных узлов и транспортировка их к местам дальнейшей разборки, механизация при разборке и сборке узлов, обкатка и испытание. Данный агрегат позволяет механизировать значительное количество работ в сельскохозяйственном производстве, что расширяет функциональные возможности агрегата и улучшает условия труда. При этом должны обслуживаться машины разных марок и типоразмеров указанных классов, то есть агрегат нужно сделать универсальным [2, 3].

Основные требования к универсальному ресурсосберегающему многофункциональному стенду [4, 5]:

1. Универсальность: возможность проводить ремонт различных средств механизации (тракторов, автомобилей и др.)
2. Многофункциональность: стенд должен позволять проводить погрузочно-разгрузочные работы, транспортировку груза в мастерскую и в ее пределах, механизировать процессы сборки и разборки узлов, обкатку и испытание их.
3. Высокая производительность, ресурсосбережение и полная механизация.
4. Простота конструкции, с возможностью изготовления силами собственной мастерской, простота в эксплуатации.
5. Максимальное использование серийных узлов и стандартных деталей.
6. Соответствие требованиям эргономики, экологии, правилам техники безопасности.

7. Агрегат должен иметь лучшие технико-экономические показатели по сравнению с аналогами.

Многофункциональный агрегат состоит из трех механизмов, объединенных в одну кинематическую схему. Это грузоподъемный механизм, приспособление для разборки и сборки двигателей и обкаточно-тормозной стенд. Привод всех механизмов осуществляется от одного электродвигателя.

Управление агрегатом необходимо осуществлять с помощью шкафа, в котором не обходимо расположить автотрансформаторы, для управления порошковым тормозом, пусковые автоматы, защитные устройства, датчики температуры, давления в системах двигателя. Управление грузоподъемным механизмом может быть также с помощью выносного пульта, соединяемого со шкафом.

#### Список использованных источников

1. Oleksii Novyk, **Valeriia Panina**, Halyna Dashyets and Andriy Bondar. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling. Modern Development Paths of Agricultural Production. – Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 177–182.

2. Асанов Р.Г. Універсальний, багатофункціональний стенд для ремонту двигунів / Р.Г. Асанов, В.В. Паніна. – Збірник наукових праць магістрів та студентів ТДАТУ. ТДАТУ, Мелітополь, 2009. Вип. 8. Ч. 1 Т.1. С.121–124.

3. Паніна В.В. Багатофункціональний агрегат для фермерських господарств/ В.В. Паніна. – Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, Вип. 2, Т. 3, 2012. – С.246-250 URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2020-vypusk-10-tom-2.pdf>.

4. Паніна В.В. Агрегат для ремонту двигунів/ В.В. Паніна. – Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2, Т.2. – С. 138–144.

5. Паніна В.В. Розрахунок і обґрунтування параметрів стенду для ремонту і обкатки двигунів в фермерських господарствах. / В.В. Паніна, О.В. В'юник/ Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 8, Т. 2. – С. 199–209. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2021-vypusk-11-tom-1.pdf>.

### **СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК**

**Базулина Т.Г., ст. преподаватель БГАТУ,  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ С ПОМОЩЬЮ  
ВИБРОДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ**

Исследования работы электрических машин в сельском хозяйстве Республики Беларусь показали, что практически все они, за редким исключением, работают в условиях повышенной вибрации. Этот фактор эксплуатации электрооборудования влияет на надежность эксплуатируемого оборудования и приводит к значительным экономическим ущербам, связанным с простым технологической линии.

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. Однако на данный момент 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. Для работы с преобразователями частоты рекомендуется применять энергосберегающие электродвигатели, увеличение КПД которых достигается в том числе и за счет уменьшения воздушного зазора в статоре. Это приводит к ужесточению требований по виброналадке всех элементов электропривода.

Вибрация отрицательно отражается на состоянии и сроках службы всех деталей и узлов механической части электрической машины. Резко возрастает износ ее подшипников, щитов, корпуса, в них появляются трещины, разбиваются посадочные места подшипников с крышками, крышек с корпусом. Сотрясение передается на фундамент или агрегат, который машина приводит в действие, а это может привести даже к их разрушению.

Отрицательно воздействует вибрация и на электрическую часть машины, особенно когда изоляция ее обмотки переходит по старе-

нию во второй класс, т.е. когда изоляция из эластичной становится твердой. Тогда сотрясение создает в ней большое количество микротрещин, в которые активно проникает влага из окружающей среды. Последняя, в свою очередь, при включении электродвигателя переходит в парообразное состояние и механически разрушает изоляцию, т.е. ускоряет процесс старения обмотки. В помещениях с активными реагентами в воздухе, например, в сельскохозяйственных (животноводческие, птицеводческие фермы и т.п.), вместе с влагой в изоляцию попадает аммиак, сероводород, углекислый газ и т.д. С водой они создают электролиты, легко распадающиеся в магнитном поле на заряженные частицы (ионы), это значительно понижает не только сопротивление обмоток, но и резко сокращает электрическую прочность изоляции. К тому же, эти химические реагенты также ускоряют старение диэлектриков, особенно органического происхождения.

Любой работающий механизм создаёт вибрации, однако каждая его часть вибрирует на своей собственной частоте и любой дефект также создаёт вибрации в определённом частотном спектре. Таким образом, зная на какой частоте возникают пики вибрации, можно определить их причины. На практике в случае применения преобразователя частоты в разветвленных гидравлических и аэродинамических системах он настраивается на автоматический пропуск резонансных частот, что позволит исключить разрушение агрегата из-за механического резонанса. Однако такой способ не позволяет оценить состояние оборудования и произвести своевременное обслуживание проблемного узла. Вибродиагностика насосного оборудования позволяет заблаговременно обнаружить возникновение дефектов насоса, прогнозировать их развитие и своевременно принимать меры по их устранению. Особенно диагностика насосов не имеет альтернативы в системах непрерывного производства, когда отсутствует возможность остановки насосного оборудования.

Для неотвеченного оборудования, выход которого из строя не ведет к значительным экономическим ущербам, достаточно применять датчики для вибромониторинга. Они измеряют среднеквадратичное значение виброскорости (СКЗ) в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц, так как именно на этих частотах проявляются дефекты, влияющие на общий уровень вибрации. Датчики имеют аналоговый токовый выход 4...20 мА, пропорциональный диапазону измерения

СКЗ виброскорости (0...0,25 мм/с; 0...0,5 мм/с) и дискретный выход, который переключается при достижении заданного значения вибрации.

Измерение общего уровня вибрации (СКЗ виброскорости) не даёт установить конкретную причину вибрации. Для устранения вибрации потребуется проводить осмотр оборудования и определять причину непосредственно по месту установки агрегата. Вибромониторинг лишь даёт приблизительное представление о состоянии машин и механизмов. Допустимые и критические значения вибрации для разных классов машин представлены в ГОСТ ИСО 10816-1-97.

Система вибродиагностики – это наиболее совершенный комплекс, включающий в себя контроллер и датчики серий, позволяющих определить величину виброускорения (g) в диапазоне до 6/10/16 кГц, а также причину возникновения его пиковых значений (посредством спектрального анализа). Монтаж датчиков для вибромониторинга и вибродиагностики необходимо производить в вращающиеся поверхности, непосредственно в корпус оборудования перпендикулярно оси вращения подшипника.

Виброналадка включает в себя балансировку роторного оборудования в собственных опорах, выверку соосности и центровку валов, устранение дефектов узлов крепления.

При тщательной выверке соосности валов машин непосредственно экономится 7–12 % годовых затрат на приобретение запчастей (подшипники, манжеты, муфты); до 60 % затрат на восстановление валов и корпусных деталей; 5–12 % электроэнергии; значительно сокращаются убытки, связанные с простоем и ремонтом машин [1].

Как следует из изложенного, проведение вибродиагностики и виброналадки при наличии специализированного оборудования позволяет увеличить срок службы элементов электропривода и повысить надежность их работы.

#### Список использованных источников

1. Пархоменко, Ю.В. Вибродиагностика и виброналадка – эффективный инструмент снижения затрат на ремонт и оборудования/ Ю.В. Пархоменко // Литье и металлургия. 2017. № 1. С. 76–79.

**Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А.<sup>1</sup>,  
Скрипко А.Н.<sup>1</sup>, к.т.н., Абдулхаев Х.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент**  
**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**<sup>2</sup>Узбекский Научно-исследовательский институт**  
**механизации сельского хозяйства, Намаган, Узбекистан**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ**  
**ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**  
**С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗАПОЛНЕНИЯ**

В условиях засушливого климата и ограниченных водных ресурсов, в песчаных и вечномерзлых грунтах, с высоким удельным сопротивлением растеканию тока при проектировании и монтаже заземляющих устройств исследования [1-2] рекомендуют использовать ряд технических решений, которыми могут быть обработка грунта веществами неагрессивными к материалу заземлителя, с целью снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве а так же применение электролитических заземлителей.

При использовании электролитов можно достигнуть значительного снижения удельного сопротивления грунта, однако такая система может работать только при достаточной влажности грунта и требует периодического обслуживания и пополнения внутреннего объема электрода [3]. Для решения этой задачи, при монтаже электролитического заземлителя грунт вокруг электрода можно заменить специальным составом, который обеспечит повышенную влажность, а значит, лучшую диффузию солей и более высокую эффективность либо предусмотреть принудительное увлажнение грунта в местах заложения заземления [3].

Для проведения исследований было смонтировано несколько электролитических заземлителей с различными видами заполнения электрода и различными грунтозамещающими смесями: электрод №1 – по технологии производителя; электрод №2 – с сухим электролитическим наполнителем производителя и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей; электрод №3 – с увлажненным электролитическим наполнителем без приэлектродной засыпки; электрод №4 – с увлажненным электролитическим наполнителем и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гид-

рогелей; электрод №5 – контрольный электрод, состоящий из трех оцинкованных вертикальных составных заземлителей, длиной 1 метр, соединенных полосой 4x10 мм длиной 3 метра, расположенных по контуру.

Для измерения сопротивления заземления в случае растекания токов низкой частоты использовалась 4-х электродная схема с расположением вспомогательных электродов, изображенная на рисунке 1.

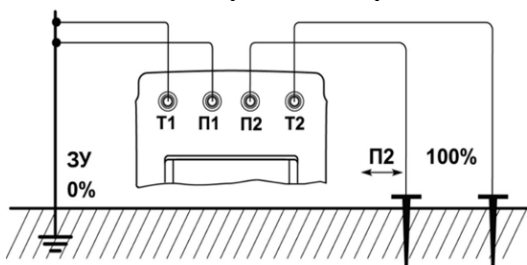


Рисунок 1 – Схема измерения сопротивления заземления экспериментальных электродов при помощи ИС-10.

Первые измерения сопротивления были произведены непосредственно после монтажа электродов. Таблица 1 показывает, сопротивление заземления непосредственно после монтажа и по истечении 30 дней (устоявшийся грунт).

Таблица 1 – Результаты измерения сопротивлений заземления непосредственно после монтажа электродов и через 30 дней, Ом.

|               | Электрод 1 | Электрод 2 | Электрод 3 | Электрод 4 | Контрольный |
|---------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| После монтажа | 47,9       | 42,3       | 48         | 40         | 211         |
| Через 30 дней | 27,5       | 36,2       | 37,5       | 17,4       | 204         |

Сопротивление заземления образцов №3 и №4, уже первоначально было более на 10–15 % выше, чем у электрода 1 но при усадке грунта уменьшилось на 40–50 %, что обусловлено технологией монтажа, а именно искусственным увлажнением приэлектродной засыпки перед монтажом с последующей диффузией солевого раствора из электрода в грунт. Сопротивление заземления образца



№2 снизилось почти в 3 раза течение первых 30 суток, что соответствует ранее известным исследованиям по применению смесей для оптимизации заземления. Сопротивление контрольного контура заземления изменилось в диапазоне 3 %, что может быть обусловлено колебаниями влажности грунта.

Исследования показали, что сопротивление электролитических заземлителей слабо реагирует на изменение погодных условий, что является положительным качеством электролитических заземляющих устройств. Исследование электролитического электрода в сочетании с грунтозамещающей смесью подтверждает, что его эффективность выше, чем без применения смесей для оптимизации заземления и открывает возможность использования таких систем в регионах с сухой, песчаной почвой, с высоким удельным сопротивлением, что особенно актуально при строительстве систем заземления для Узбекистана и южных регионов РБ.

#### Список использованных источников

1. Демин В.И., Пашиян Л.А. Анализ конструктивных особенностей электролитических заземлителей. Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 3. С. 44–48.

2. С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.Х. Муродов, Х. Абдулхаев, А.Н. Скрипко Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками // Агропанорама.– 2021. – №5(147).– С. 28–33.

3. Драко М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 23 (1), 80–92.

4. Барайшук С.М., Павлович И. А., Кахоцкий М. И. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта // Междуронадний научнопрактический журнал «ЭПОХА НАУКИ» .– 2020. – №24 (2020).– С. 87–93.

**УДК 621.313.13:631.17**

**Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П., к.т.н., доцент,  
Коровкина Н.П., к.п.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ  
И ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ АПК**

Экономия электроэнергии в АПК приводит к ощутимому снижению себестоимости выпускаемой продукции и повышению рентабельности производства. Основными направлениями экономии электроэнергии АПК можно считать следующие:

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

Энергосбережение сводится к снижению потерь энергии. В общепринятой структуре потребления электроэнергии электропривод занимает 60 % всей вырабатываемой электрической энергии преобразуется в механическую работу и поэтому важно насколько эффективен этот процесс и насколько велики сопровождающие его потери. Отсюда следует, что основной эффект энергосбережения может быть получен в наиболее энергоемкой сфере – сфере использования электропривода.

В данной статье рассматривается эффективность энергосберегающих мероприятий для насосных агрегатов при использовании на них ЧРЭП и ВИД.

*Применение частотно-регулируемого привода.*

Система «электронный преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный двигатель» в настоящее время является оптимальным техническим решением массового электропривода.

Для каждого уровня расхода  $Q$  и напора  $H$  воды определялась потребляемая мощность  $P_\phi$  электродвигателем насоса до и после установки ЧРЭП.

$$P_{\phi} = \frac{Q_n \cdot H_n}{367,2 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_n}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $P_{\phi}$  – потребление электрической мощности до установки ЧРЭП, кВт;

$Q_n$  – номинальная производительность насоса, м<sup>3</sup>/час;

$H_n$  – номинальный напор, развиваемый насосом, м;

$\eta_{\text{дв}}$  – КПД двигателя;  $\eta_n$  – КПД насоса.

После модернизации электропривода за счет снижения частоты вращения двигателя насоса уменьшается при тех же расходах напор и, следовательно, мощность и электроэнергия. Пересчет уровней напора и мощности для двух частот вращения  $\omega_1$  и  $\omega_2$  производился с помощью формул подобия:

$$Q_1 / Q_2 = \omega_1 / \omega_2; H_1 / H_2 = (\omega_1 / \omega_2)^2; P_1 / P_2 = (\omega_1 / \omega_2)^3.$$

Мощность  $P_{\text{пч}}$ , потребляемая насосным агрегатом после установки ЧРЭП:

$$P_{\text{пч}} = \frac{Q_n \cdot H_n}{367,2 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{пч}}}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где  $Q_n$  – требуемая производительность насоса, м<sup>3</sup>/час;

$H_n$  – требуемый напор, развиваемый насосом, м;

$\eta_{\text{пч}}$  – КПД преобразователя.

Экономия электроэнергии в год составит:

$$\Delta W = W_{\phi} - W_{\text{пч}} = P_{\phi} T_p - P_{\text{пч}} T_p, \text{ кВт/ч}, \quad (3)$$

где  $W_{\phi}$ ,  $W_{\text{пч}}$  – потребление электроэнергии до установки и после ЧРЭП соответственно;

$T_p$  – количество часов работы насоса в году.

Внедрению ВИД способствует большая простота устройства, определяющая относительно невысокую стоимость изготовления, а также простоту и дешевизну их эксплуатации.

Экономия электрической энергии при замене асинхронных двигателей на ВИД одинаковых мощностей определяли по разности потерь мощности АД и ВИД:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{1АД}} - \Delta P_{\text{1ВИД}} = P_{\text{ном}} \cdot (1/\eta_{\text{АД}} - 1/\eta_{\text{ВИД}}), \text{ кВт}, \quad (4)$$

где  $\Delta P_{\text{1АД}}$ ,  $\Delta P_{\text{1ВИД}}$  – потребляемые мощности соответственно АД и ВИД, кВт;

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность двигателей АД и ВИД, кВт;

$\eta_{\text{ад}}$  – КПД асинхронного двигателя;

$\eta_{\text{вид}}$  – КПД вентильно-индукторного двигателя.

Таблица 1 – данные расчета по определению экономической эффективности при установке ЧРЭП на насосных агрегатах

| Наименование насоса                 | $P_{\text{ф}},$<br>кВт | $P_{\text{пч}},$<br>кВт | $W_{\text{ф}},$<br>кВт/ч | $W_{\text{пч}},$<br>кВт/ч | $\Delta W,$<br>кВт/ч |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Насос приготовления перегретой воды | 58                     | 34                      | 222720                   | 130560                    | 92160                |
| Насос подпитки                      | 71                     | 51,4                    | 272640                   | 197376                    | 75264                |
| Насос охлаждения                    | 140                    | 101                     | 537600                   | 387840                    | 149760               |
| Насос расхода сетевой воды          | 200                    | 91                      | 1752000                  | 797160                    | 954840               |

### *Замена асинхронных двигателей на ВИД*

Таблица 2 – данные и оценка экономии электроэнергии при замене асинхронных двигателей на ВИД на насосных агрегатах

| №<br>п/п | $P_{\text{ном}},$<br>кВт | $\eta_{\text{ад}},$<br>о.е. | $\eta_{\text{вид}},$<br>о.е. | $\Delta P,$<br>кВт | $\Delta W,$<br>кВтч |
|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|
| Насосы   |                          |                             |                              |                    |                     |
| 1        | 14                       | 0,85                        | 0,94                         | 1,57               | 6751                |
| 2        | 18,5                     | 0,7                         | 0,92                         | 6,32               | 27176               |
| 3        | 22                       | 0,87                        | 0,92                         | 1,37               | 5891                |
| 4        | 30                       | 0,88                        | 0,94                         | 3,31               | 14233               |
| 5        | 55                       | 0,86                        | 0,92                         | 4,1                | 17630               |
| 6        | 75                       | 0,70                        | 0,92                         | 25,62              | 112875              |
| 7        | 90                       | 0,79                        | 0,94                         | 18,18              | 78174               |
| 8        | 110                      | 0,88                        | 0,94                         | 8,8                | 37840               |
| 9        | 132                      | 0,87                        | 0,92                         | 8,25               | 39732               |
| 10       | 160                      | 0,87                        | 0,94                         | 2,87               | 61920               |

Таким образом, приведенные расчеты показали, что применение на насосах ЧРЭП и ВИД приводят к значительной экономии электроэнергии на промышленных предприятиях.

**Бондарчук О.В.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИЯ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ**  
**В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Активность прорастания ячменя снижается в зависимости от длительности хранения, а также очень низкая у свежесобранного зерна, находящегося в стадии биологического покоя. Перед солодовенными предприятиями стоит задача в активации жизнедеятельности пивоваренного ячменя.

Дополнительную обработку зерна при солодопроизводстве выполняют для улучшения качества солода, которое характеризуют совокупностью физико-химических и органолептических показателей [1]. Наиболее значимые это – способность прорастания пивоваренного ячменя, амилолитическая активность солода, массовая доля экстракта в сухом веществе солода, продолжительность осахаривания, кислотность и другие показатели, которые зависят от класса ячменя и способа его обработки [2].

Перечисленные характеристики показывают отсутствие единого показателя качества солода. Диапазон изменения этих параметров небольшой, а их влияние на конечный продукт значительно. Например, повышение экстрактивности на один процент увеличивает выпуск пива на 50...60 литров с одной тонны солода [3]. В масштабах Беларуси это может дополнительно составить 150 тыс. дал пива на сумму более 2,2 млн. руб. в год, в ценах 2021 года [4].

Одним из способов воздействия на пивоваренный ячмень является электроактивация в переменном электрическом поле [5]. Что приводит к изменению физико-химических и физиологических показателей зерна. Из перечисленных выше характеристик для исследования выбрали способность прорастания [6]. Среднее время прорастания определяли по формуле:

$$T_{\text{ср}} = \frac{N_{24} + 2N_{48} + 3N_{72}}{N_{24} + N_{48} + N_{72}}, \quad (1)$$

где N – число проросших зерен через 24, 48, 72 часа.

Индекс прорастания рассчитывали по формуле:

$$I_{\text{пр}} = \frac{10}{T_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

Средние значения величин представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Способность прорастания, время и индекс прорастания пивоваренного ячменя

| Объект исследования          | Доля пророщенных зерен, % | Среднее время прорастания, сут | Индекс прорастания |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Электроактивированный ячмень | 97,4                      | 1,4                            | 7,1                |
| Контрольный образец          | 94,2                      | 1,8                            | 5,7                |

Из данных таблицы видно, что увеличилось количество проросших зерен, сократилось время прорастания, увеличился индекс прорастания, который характеризует интенсивность прорастания пивоваренного ячменя. Поэтому индекс прорастания можно рекомендовать производителям солода для оценки активации зерна, ведь чем активнее оно прорастает, тем меньше времени и энергозатрат требуется на получение солода.

#### Список использованных источников

1. Солод пивоваренный. Технические условия: ГОСТ 292594–2014. – Введ. 01.01.2016. – М.: Стандартиформ, 2016 – 28 с.
2. Ячмень пивоваренный. Технические условия: ГОСТ 5060–86. – Введ. 01.07.1988. – М.: Стандартиформ, 2010. – 6 с.
3. Пиво by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pivo.by/articles/reviews/heineken-belarusian-malt>. – Дата доступа: 14.08.2020.
4. Продукт by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://produkt.by/news/kachestvo-pivovarenного-yachmenya-v-etom-godu-vyshe-proshlogodnego> – Дата доступа: 14.08.2020.
5. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде : пат. 22032 Респ. Беларусь, МПК C12C 1/02 О.В. Бондарчук, В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь; заявитель Учреждение образования «Белорусский аграрный технический университет». – № а 20160040;

заявл. 10.02.2016; опубл. 30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – №5. – С. 21.

6. Григорчик, С. С. Исследование влияния электрического поля на физиологические показатели пивоваренного ячменя для солодо-производства / С. С. Григорчик ; науч. рук. О. В. Бондарчук // Энергетика в АПК : сборник тезисов докладов студенческой научной конференции, Минск, 17–28 мая 2021 г. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 60.

**УДК 621.3: 631.171**

**Вендин С.В., д.т.н.**

**ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Белгород, Россия**  
**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСА НА ЭНЕРГЕТИКУ**  
**СВЧ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ**  
**МАТЕРИАЛОВ ИМПУЛЬСНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**

Энергия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) с успехом может быть применима в промышленности, сельском хозяйстве и в быту. В сельском хозяйстве одним из возможных применений является технологическая обработка семян с целью стимуляции, дезинфекции и дезинсекции. Эффективность применения СВЧ энергии для технологической обработки семян показана, как в ранних работах [1-3], так и в более поздних исследованиях автора [4-7]. Процесс СВЧ обработки семян может быть реализован различными технологическими и техническими приемами и способами. Кроме того, для повышения эффективности использования ЭМП СВЧ необходимо решать такие технико-технологические вопросы, как равномерность обработки семян и согласование источника СВЧ энергии с нагрузкой. Решение этих технических задач связано с конструктивными особенностями СВЧ установок. При обработке слоя семян под излучателем согласование СВЧ источника с нагрузкой возможно на основе подбора толщины слоя материала. Равномерность обработки объема продукта может быть обеспечена разработкой специальных конструкций резонаторных камер и др.

Известно, что эффективность СВЧ обработки (диэлектрического нагрева) связана с величиной напряженности электрического поля,

которая определяет удельную поглощаемую в материале электромагнитную мощность или удельную мощность воздействия (Вт/м<sup>3</sup>). К сожалению, повышение напряженности электрического поля при непрерывном излучении электромагнитной волны связано с увеличением мощности СВЧ источника. В тоже время напряженность электрического поля можно повысить при использовании амплитудно-модулированных (импульсных) электромагнитных полей.

В этом случае параметрами импульсной СВЧ обработки являются: основная (несущая) частота электромагнитной волны  $\omega_0$ , длительность импульса  $\tau_0$  и частота следования импульсов  $f$  (период посылки импульсов  $T_{\text{ц}}$ ). Высокочастотный электромагнитный импульс может иметь различную форму огибающей, но в самом простом случае – это единичный прямоугольный высокочастотный импульс длительностью  $\tau_0$ .

Оценка напряженности электрического поля в продукте связана с решениями электродинамических задач распространения электромагнитной волны в диэлектрических средах. Решение таких задач по высокочастотной обработке диэлектрических сред, в том числе, и для импульсной СВЧ обработки имеется в работах [8-9].

Проведенный теоретический анализ для импульсной СВЧ обработки диэлектрической среды показывает, что вместе с основной частотой  $\omega_0$  в материале будут присутствовать и другие соседние частоты  $\omega$ .

При этом наблюдается замечательный факт, свидетельствующий о том, что длительность импульса  $\tau_0$  существенно влияет на энергетический спектр излучения по фронту распространения электромагнитной волны  $\mathbf{z}$ , который определяется общим выражением:

$$\dot{E}_y^z(z, \omega) = \frac{1}{\omega_0 - \omega} \sin\left(\frac{\omega_0 - \omega}{2} \tau_0\right) \cdot \exp\left[-i\left(\frac{\omega_0 - \omega}{2} \tau_0 + kz + \frac{\pi}{2}\right)\right] - \frac{1}{\omega_0 + \omega} \sin\left(\frac{\omega_0 + \omega}{2} \tau_0\right) \cdot \exp\left[-i\left(\frac{\omega_0 + \omega}{2} \tau_0 + kz + \frac{\pi}{2}\right)\right] \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент распространения электромагнитной волны.

С уменьшением длительности импульса энергия излучения начинает перераспределяться на соседние с основной частоты, и эти частоты будут участвовать при переносе электромагнитной энергии. С увеличением длительности импульса спектр частот заметно сужа-



ется вокруг основной несущей частоты. Однако это ограничивает возможности импульсной концентрации СВЧ мощности, так как предельный случай увеличения длительности импульса – непрерывное излучение. Кроме этого длительность импульса  $t_0$  и частота следования импульсов  $f$  определяют коэффициент заполнения импульса  $\gamma$  оказывающий существенное влияние на энергетическую эффективность СВЧ воздействия.

#### Список использованных источников

1. Бородин, И.Ф. Изменение всхожести семян зерновых культур под влиянием СВЧ обработки / И.Ф. Бородин, С.В. Вендин, А.Д. Горин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1993. № 2. С. 92.
2. Вендин С.В. Изменение всхожести семян зерновых культур под влиянием СВЧ обработки / С.В. Вендин, А.Д. Горин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1994. № 3. С. 21–22.
3. Вендин, С.В. Исследование напряженности электрического поля в семени при СВЧ дезинсекции зерна / С.В. Вендин // Электричество. – 1994. – № 3. – С. 54–59.
4. Вендин, С.В. Экспериментальные исследования предпосевной обработки семян пшеницы электромагнитным полем СВЧ / С.В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. № 1(1). С. 4–10.
5. Вендин, С.В. Электромагнитная обработка семян / С.В. Вендин // Сельский механизатор. 2014. № 12. С. 32–33.
6. Вендин, С.В. Результаты экспериментальных исследований по предпосевной обработке семян пшеницы электромагнитным полем / С.В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 1(16). С. 73–77.
7. Вендин, С.В. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ облучения, СВЧ обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, В.Ю. Страхов // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2(46). С. 42–50.
8. Вендин, С.В. К расчету напряженностей электромагнитного поля при СВЧ обработке диэлектрических плоскостойких объектов / С.В. Вендин, П.А. Трубаев // Вестник Белгородского государ-

ственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 215–218.

9. Вендин, С.В. К расчету распространения электромагнитного импульса при СВЧ обработке диэлектрических сред / С.В. Вендин, И.А. Щербинин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 204–206.

**Городецкая Е.А.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Городецкий Ю.К.<sup>2</sup>,  
Титова Е.Т.<sup>2</sup>, к.б.н., доцент,**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,**

**<sup>2</sup>НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь  
ПРОСЕИВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Известна машина для очистки и сортировки семян воздушно-решетная универсальная СВУ-5 [1], содержащая решетный стан и два сепарационных канала предварительной и окончательной очистки, связанные с вентилятором. Оба канала работают от одного вентилятора.

К недостаткам следует отнести следующие: при регулировании скорости воздушного потока в одном канале, соответственно изменится его скорость во втором канале, так же и при изменении загрузки машины. Таким образом, в машинах невозможна независимая регулировка скорости воздушного потока в каждом канале, что необходимо, поскольку материал, поступающий на обработку в каждый канал, различен по составу и требует неодинаковых режимов воздушного потока.

Известная воздушно-решетная семеочистительная машина ЗВС-20 с набором из 4 решет [2] выделяет из зернового материала колосовых, крупяных, зернобобовых культур, кукурузы, подсолнечника и сорго крупные, мелкие и легкие примеси. Она также не лишена недостатков: регулирование скорости воздушного потока сложное, семена в аспирационных отнoсах выносятся, кроме этого, происходит дробление основной культуры. Следует отметить сложный набор решет и громоздкость.

Известная магнитная семеочистительная машина «Petkus» (советский аналог – ЭМС-1А и К590А), достаточно эффективна на мелких семенах, но разделяет смеси по шероховатости семян [3].

Необходимое увлажнение семян с целью обволакивания их металлическим порошком становится не только существенным недостатком, но и является вредным производством. Затем семена необходимо обсушить, что влечет увеличение трудо- и энергоемкости процесса.

Наиболее удобным является сепаратор диэлектрический. Семена зерновых сепарировались при напряжении на обмотке рабочего органа 2,5...3,5 кВ. Но и он не лишен недостатков. Мелкие семена (пряная ароматика, красиво цветущие декоративные и лечебные культуры и т.п.) просыпаются в межвитковое пространство имеющейся бифилярной обмотки, перекрывая эффективную рабочую зону, делая, тем самым, невозможным процесс разделения. Следовало снизить напряжение, но эффективной сепарации достичь не удавалось. Была поставлена задача четкого разделения семенного вороха и получении чистой фракции мелких семян.

Поставленная задача достигалась тем, что диэлектрическое сепарирующее устройство для получения мелких семян должно иметь рабочий орган с пленочным покрытием бифилярной обмотки, которое предотвращает просыпание семян и частиц сепарируемой смеси в межэлектродные зазор. Таким образом, становится возможной сепарация мелкосемянных культур.

Исследованы тонкие прозрачные полиэтиленовые пленки, получаемые методом экструзии из полиэтилена высокого давления. Эффективность толщины пленочного покрытия подтверждается результатами экспериментальных исследований (табл.1) при использовании навесок исходных семян 35 г.

Как следует из данных таблицы, приемлемой толщиной пленочного покрытия мы считаем толщину 0,04...0,06 мм.

Засыпались навески – 35 г семенного вороха мелкосемянных пряно-ароматических культур, включающие выполненные и невыполненные, поврежденные семена и примеси (остатки семенного ложа, частички стеблей, половы, элементы упаковки, мусор, песок, земля и т.п.). Из табл. 1 видно, что на более крупных семенах (укроп, петрушка и фенхель) образцы тонкой пленки не выдерживали давления семян при вращении барабана и рвались, на мелких семенах такая пленка не рвалась, но семена электризовались и уходили под

щетку во фракцию отхода. Тоже самое наблюдали и с толстыми пленками (более 0,060 мм)

Таблица 1 – Толщина образцов пленки для выполнения покрытия рабочего органа и полученные фракции (г)

| Культура                 | Толщина образцов пленки, мм |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 0,030                       | 0,040 | 0,050 | 0,060 | 0,070 | 0,080 |
| Укроп<br>(1,0 кВ)        | пленка<br>рвалась           | 29,0  | 29,0  | 29,0  | 23,0  | 22,0  |
| Фенхель<br>(0,9...1,1кВ) | пленка<br>рвалась           | 29,0  | 29,0  | 29,0  | 23,0  | 22,0  |
| Петрушка<br>(1,0 кВ)     | пленка<br>рвалась           | 30,0  | 29,0  | 29,0  | 22,0  | 21,0  |
| Амарант<br>(0,3 кВ)      | 20,0                        | 29,7  | 29,8  | 29,9  | 21,0  | 21,0  |
| Мелисса<br>(0,5 кВ)      | 22,0                        | 29,7  | 29,9  | 29,9  | 20,0  | 20,0  |

Образцы пленок средней толщины (0,040–0,060 мм) оказались самыми оптимальными – они выдерживали вращение рабочего органа и нахождение на нем семян разного размера, хорошо прилегали к обмотке, не оказывали никакого негативного влияния на сепарацию, но и не давали семенам занимать межвитковое пространство.

Таким образом, на основании проведенных исследований, мы можем рекомендовать при электросепарации мелкосемянных культур применение полиэтиленовой пленки толщиной 0,04...0,06 мм, как диапазон толщины с удовлетворительными эксплуатационными качествами и обеспечивающим эффективное разделение смеси. Более тонкие пленки не выдерживали эксплуатационных нагрузок, более толстые перекрывали рабочие зоны и делали сепарацию неэффективной.

#### Список использованных источников

1. <http://www.findpatent.ru/patent/70/704519.html>© FindPatent.ru – патентный поиск, 2012–2020, доступ 01.09.2021.

2. Машина первичной очистки ЗВС-20А// Руководство по эксплуатации/ ОАО Воронежсельмаш по ТУ 4735-013-05785750-2002.

3. Дубодел И.Б., Заяц Е.М., Кардашов П.В., Корко В.С., Городецкая Е.А. Электротехнологии. – Минск: БГАТУ, 2014. – 251 с.

**Дайнеко В.А., к.т.н., зав кафедрой ЭСХП,  
Базулина Т.Г., ст. преподаватель, Гольмант Н.С., магистрант  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ВЫБОР ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ  
ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Повышение эксплуатационной надежности регулируемого электропривода (ЭП) требует непрерывного контроля температурного режима электродвигателя (ЭД) и силового преобразователя (СП) в рабочих режимах.

В составе частотно-регулируемого ЭП электродвигатель, как правило, эксплуатируется при переменных потоке, теплоотдаче и потерях в статоре и роторе. Наиболее чувствительной к нагреву частью АД является изоляция обмотки статора [1, 2, 3]; в силовых преобразователях такой частью являются транзисторы и диоды силовых модулей инвертора и выпрямителя.

Для разработки системы мониторинга теплового состояния ЭП необходимо выполнить обзор с целью выбора модели, позволяющей анализировать температуры ЭД и СП в стационарных и переходных режимах.

Известны как простые тепловые модели асинхронных электрических двигателей, дающие общее представление о нагреве элементов ЭП, так и сложные, требующие информацию о параметрах, известных только заводам-изготовителям [4, 6].

В основу простейшей одномассовой тепловой модели положено уравнение теплового баланса [1, 5]. При построении данной модели делаются следующие допущения – электродвигатель представляется как однородная масса с равномерно распределенными источниками тепла, с бесконечной внутренней теплопроводностью, с теплоотдачей, пропорциональной разности температуры двигателя и окружающей среды. Такая модель используется в косвенных методах проверки электродвигателя по нагреву (метод средних потерь и метод эквивалентных величин). Достоинства одномассовой модели: простота и надежность оценки теплового состояния двигателя при его работе с постоянной мощностью и неизменной температурой

окружающей среды. Недостатки: модель рассчитана на неизменное соотношение потерь в статоре и роторе; она не пригодна для частотно-регулируемых ЭП.

Тепловая схема замещения многомассовой тепловой модели представляет электрический двигатель как совокупность элементов (обмотки, магнитопровод, механические узлы), каждый из которых имеет свой источник тепла, обладает различными теплоемкостью, теплоотдачей и нагревается до различных температур [1, 4]. Вся тепловая система машины заменяется эквивалентной электрической. Создание ее основано на аналогии тепловых потоков и электрических токов, тепловых и электрических сопротивлений:  $Q = \frac{\Delta\tau}{R_T}$ , где  $Q$  – тепловой поток, эквивалентный силе тока  $I$ ;  $\Delta\tau$  – перепад температур, эквивалентный разности потенциалов  $\Delta U$ ;  $R_T$  – тепловое сопротивление, эквивалентное электрическому сопротивлению  $R_y$ . Участки двигателя, однородные в тепловом отношении, заменяются эквивалентными тепловыми сопротивлениями и для них записывается система уравнений теплового баланса.

Достоинством многомассовой модели является точное прогнозирование температуры в любой точке электродвигателя и возможность учета взаимного влияния всех элементов ЭД на тепловое состояние. Недостатки такой модели: для расчета необходимо знать специфические параметры электродвигателей; требуется с высокой точностью измерять температуру в различных точках; решение системы уравнений теплового баланса для каждого элемента схемы двигателя – сложная задача, занимающая большое время.

Двухмассовая тепловая модель с разделением на массу статора и ротора, рассмотренная в [4], предложена для исследования частотно-регулируемого электропривода [6]. Тепловая модель с сосредоточенными тепловыми емкостями и резисторами первой и второй масс, предназначенная для защиты нагретой точки обмотки статора от перегрева во время работы в условиях перегрузки представлена на рисунке 1.

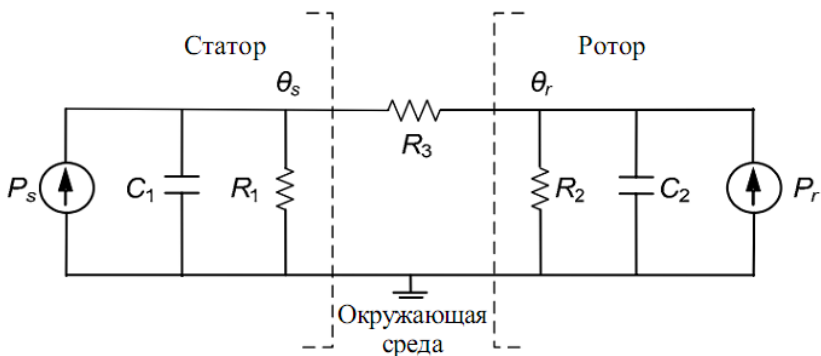


Рисунок 1. Тепловая модель асинхронного электродвигателя с сосредоточенными емкостями и резисторами.

$P_s$  – потери в статоре,  $P_r$  – потери в роторе;  $\theta_c$  – перегрев статора относительно окружающей среды,  $\theta_r$  – перегрев ротора относительно окружающей среды,  $C_1$  – тепловая емкость статора,  $C_2$  – тепловая емкость ротора,  $R_1$  – тепловое сопротивление статора,  $R_2$  – тепловое сопротивление ротора,  $R_3$  – тепловое сопротивление, связанное с теплопередачей от ротора к статору через воздушный зазор.

В результате проведенного обзора, для дальнейших исследований в качестве базовой выбрана модель, приведенная на рис.2.

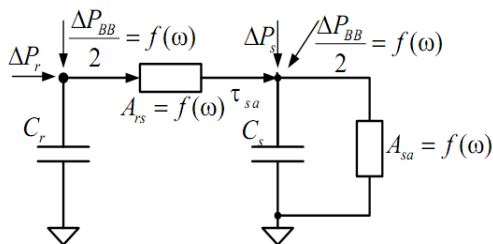


Рисунок 2. Двухмассовая модель асинхронного электродвигателя

Как следует из [6], уравнения для данной двухмассовой модели имеют следующий вид:

$$\frac{d\tau_s}{dt} = \frac{1}{C_s} \left( \Delta P_s + \frac{\Delta P_{\dot{A}\dot{A}}}{2} + A_{sr}(\tau_r - \tau_s) - A_{sa}\tau_s \right)$$

$$\frac{d\tau_r}{dt} = \frac{1}{C_r} \left( \Delta P_r + \frac{\Delta P_{\dot{A}\dot{A}}}{2} + A_{sr}(\tau_r - \tau_s) - A_{sa}\tau_s \right),$$

где  $\tau_s$  – перегрев статора;  $\tau_r$  – перегрев ротора;  $C_s$  – теплоемкость статора;  $C_r$  – теплоемкость ротора;  $\Delta P_s$  – потери в статорной цепи;  $\Delta P_r$  – потери в роторной цепи;  $\Delta P_{\dot{A}}$  – потери в подшипниках;  $A_{sr}$  – тепловое сопротивление перехода «статор-ротор»;  $A_{sa}$  – тепловое сопротивление «статор-окружающая среда».

Параметры тепловой проводимости между статором и ротором и между статором и окружающей средой являются величинами переменными, зависящими от частоты вращения. При повышении частоты вращения ротора интенсивность теплообмена возрастает.

#### Выводы

1. В результате обзора установлено, что одномассовая тепловая модель электродвигателя, используемая в классических методах расчета мощности электродвигателей, не применима для частотно-регулируемого электропривода.

2. При разработке частотно-регулируемого ЭП следует учитывать ухудшение теплоотдачи ЭД при работе на пониженных скоростях, что не позволяет одномассовая модель.

3. Многомассовые модели требуют знания многочисленных конструктивных параметров ЭД, что затрудняет расчеты в реальном времени и ограничивает возможность создания на их основе устройств защиты от перегрева.

4. Выбранная двухмассовая тепловая модель асинхронного электродвигателя учитывает процесс отдельного нагрева ротора и статора, поэтому перспективна для разработок на ее основе защит от перегрева электродвигателей и силовых модулей ПЧ.

#### Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

2. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик АД с к.з. ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной. /М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2017. – №3. С. 26–34.



3. Макаров А.В., Вечеркин М.В., Завьялов А.С. Обзор тепловых моделей асинхронных двигателей. – Электротехнические системы и комплексы, (2013), 21, С. 75–84.

4. Дорохина Е.С. Мониторинг теплового состояния асинхронных тяговых электродвигателей. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.09.01. – Томск, 2015.

5. Анучин А.С., Федорова К.Г., Двухмассовая тепловая модель асинхронного двигателя, Электротехника, №2, 2014 г., С. 21–24.

6. Федорова К.Г. Применение двухмассовой тепловой модели для организации защиты в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.09.03. – Москва, 2018.

**Дайнеко В.А., к.т.н., зав кафедрой ЭСХП,  
Прищепова Е.М., к.т.н., доцент, Крупеня В.И., ассистент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ  
ЗАГРУЗКИ И УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА  
АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Основными недостатками асинхронных электродвигателей (АД) являются большой пусковой ток и проблемы согласования крутящего момента двигателя с моментом сопротивления нагрузки. В процессе прямого пуска крутящий момент превышает номинальный в 1,5–2 раза, что приводит к авариям и повреждениям в ЭП. При малых нагрузках коэффициент мощности и к.п.д. АД снижаются.

Простые устройства плавного пуска (УПП) применяются в регулируемых ЭП с АД и устраняют основные недостатки прямого пуска: ударный ток статора и колебательный момент большой амплитуды. Провал питающего напряжения, обусловленный сверхтоком обмотки статора при пуске снижается, но искажение формы питающего напряжения существенно увеличивается [1, 2, 3], а нагрев АД возрастает. По окончании разбега электродвигателя, УПП, как правило, подключают его обмотки на полное напряжение питающей сети.

Современные динамические контроллеры (устройства плавного пуска АД с функциями энергосбережения и коррекции коэффициента мощности) обеспечивают функции плавного пуска, торможения, а также непрерывный контроль загрузки АД и автоматическое регулирование напряжения на обмотке его статора. Такие устройства снижают потери в электродвигателе при пониженных нагрузках и в режиме холостого хода [1].

Мониторы нагрузки электродвигателей являются цифровыми устройствами, непрерывно измеряющими загрузку электропривода, причем электродвигатель используется как датчик загрузки [1, 2]. При пуске ЭП, оснащенного таким монитором, в течение двух-трех секунд автоматически определяется оптимальная нагрузка для данного АД и вырабатываются управляющие сигналы, обеспечивающие возможность защиты от перегрузки, от заклинивания механической части ЭП, а также отключение при недогрузке и холостом ходе.

Применение динамических контроллеров и мониторов загрузки повышает энергетические показатели асинхронных ЭП [1]. Оптимальных значений эти показатели обычно достигают, когда напряжение на обмотке статора АД находится в пределах 0,6...0,8 номинального значения. При этом регулятор поддерживает оптимальное скольжение по условию минимизации потерь активной мощности в статоре:

$$s_{i\dot{r}\dot{o}} = \left( R_2' \sqrt{(X_\mu^2 / R_\mu + R_1) / (R_2' + R_1)} \right) / X_{e.c.}$$

где  $R_l$ ,  $R_2'$ ,  $R_\mu$  — соответственно активные сопротивления статора, приведенное ротора и контура намагничивания;  $X_\mu$ ,  $X_{к.з.}$  — соответственно индуктивные сопротивления контура намагничивания и короткого замыкания.

При регулирования напряжения питания обмотки статора АД снижение потерь мощности возможно примерно в 2,5–3 раза. уменьшить потери мощности и повысить коэффициент мощности. Применение параметрического регулирования скорости в асинхронном электроприводе имеет ограниченное применение, так как допустимая нагрузка АД резко снижается при уменьшении скорости ротора:  $M_{доп} = M_{ном} s_{ном} / s_{рег}$

Таким образом, основное назначение параметрических тиристорных регуляторов напряжения – плавный пускатель и энергосберегающее устройство в нерегулируемом асинхронном электроприводе.

Для реализации УПП и регуляторов загрузки необходим правильный выбор технических средств измерения силы тока статора и активной мощности в цепи статора АД. Обычные трансформаторы тока непригодны для таких целей из-за искажения формы тока тиристорными устройствами. В результате проведенных исследований, на кафедре ЭСХП разработаны измерительные преобразователи тока и мощности на основе шунтов, включаемых в фазы обмотки статора АД. Гальваническая развязка измерительных цепей обеспечивается применением изолирующих усилителей (рис. 1).

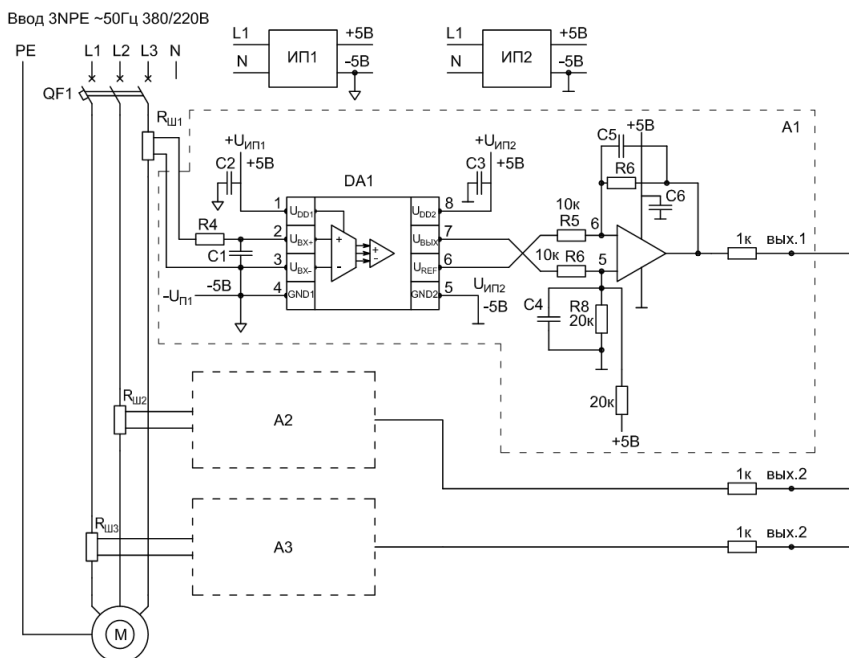


Рисунок 1. Трехфазная схема измерительного преобразователя тока на основе изолированных усилителей

Для гальванического разделения силовых и измерительных цепей использованы изолированные усилители, обеспечивающие из-

мерение токов перегрузки и токов короткого замыкания. Выбранные для этой схемы изолированные усилители (DA1-DA3) ACPL-785J имеют функции контроля токов перегрузки и короткого замыкания, причем время реакции на ток короткого замыкания не превышает 3 мкс. ACPL-785J выполнен по технологии оптической изоляции и сигма-дельта модуляции для обработки входного аналогового сигнала, что позволяет выполнять прямые измерения силы тока в фазах электродвигателей и в цепях инверторов [3, 5]. Выходы блока A1 соединяются со входами контроллера или другого устройства, входящего в состав схемы управления и защиты электропривода по току или по мощности.

Использование схемы на изолированных усилителях в качестве датчиков токов в трехфазных, однофазных цепях, в цепях постоянного тока, в цепях импульсного тока любой формы позволяет реализовывать совместно с микропроцессорами или микроконтроллерами высокоточную, быстродействующую и надежную систему управления и защиты для регуляторов загрузки и устройств плавного пуска асинхронных электродвигателей.

#### Список использованных источников

1. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
2. А.М. Мусин. Электропривод сельскохозяйственных машин и агрегатов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 239с.
3. Измерение тока фаз электродвигателя с помощью изолированных датчиков тока. – Компоненты и технологии, №4, 2009. – С. 80–83.
4. Компоненты современных шкафов управления приводом и автоматике. – Силовая электроника, №5, 2016. – С. 52–55.
5. [www.eaton.ru/Eaton\\_RU/PrjduktsServises/Electrical/AutomationControl](http://www.eaton.ru/Eaton_RU/PrjduktsServises/Electrical/AutomationControl).

**Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент,  
Корко В.С., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССОВ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
БЕЛКОВОСОДЕРЖАЩИХ СРЕД**

Коагуляция белковосодержащих сред под действием внешнего электрического поля зависит от баланса трех энергий: межмолекулярного притяжения, электростатического отталкивания и диполь-дипольного взаимодействия.

Коагуляция происходит в случае, когда энергии молекулярного притяжения и диполь-дипольного взаимодействия превосходят энергию электростатического отталкивания.

Исследования показали, что суммарная энергия взаимодействия коллоидных частиц в наибольшей мере зависит от температуры  $T$  и потенциала диффузной части двойного слоя  $\varphi_0$ . Следовательно, возможна тепловая и химическая коагуляция белковосодержащих сред.

Тепловая коагуляция происходит при высоких температурах (например для картофельного сока выше  $60^\circ\text{C}$ , молочной сыворотке выше  $80^\circ\text{C}$ ). Химическая коагуляция возможна при  $\varphi_0 = (30 \dots 40) \cdot 10^{-3}$ . В для сока и  $\varphi_0 = (0,25 \dots 0,35)$  В для сыворотки. Так как  $\varphi_0$  – потенциал не поддается экспериментальному определению, его заменили на электрокинетический потенциал  $\zeta$ .

На электрокинетический потенциал оказывает влияние рН среды, так как водородные и гидроксильные ионы обладают высокой способностью адсорбироваться; первые – благодаря малому радиусу, что позволяет им близко подходить к поверхности частицы, вторые – из-за большого дипольного момента.

В кислой среде  $\zeta$ -потенциал имеет положительный знак, в щелочной – отрицательный. Значение  $\zeta$ -потенциала равно нулю, соответствует изоэлектрической точке (ИЭТ). В этой точке белки наименее устойчивы, так как число взаимодействующих ионизированных и кислотных групп в белковой молекуле будет одинаково и приведет к сворачиванию ее в клубок, плотность которого вследствие сил притяжения между разноименно заряженными группами максимальна. ИЭТ различна для разных растворов белков и колеб-

лется от  $pH = 2$  до  $pH = 11$ . Например, изоэлектрическая точка белков картофельного сока соответствует  $pH = 4,8$ , молочная сыворотка имеет две ИЭТ:  $pH = 2,5 \dots 3,5$  и  $pH = 8 \dots 9$ .

Следовательно, изменяя  $pH$  белковосодержащей среды, можно воздействовать на значение  $\zeta$ -потенциала, а значит на суммарную энергию взаимодействия молекул белка и, в конечном счете, на процесс коагуляции.

Изменить  $pH$  среды можно постоянным электрическим током, регулируя количество электричества  $Q$ , значении которого белок переходит в изоэлектрическое состояние, наиболее благоприятное для его коагуляции, то есть варьируя величину  $Q$  можно воздействовать на значение электрокинетического потенциала и тем самым контролировать коагуляционные процессы. Кроме того, способ коагуляции белковых молекул снижением  $\zeta$ -потенциала предпочтительнее первому способу, основанному на изменении температуры, так как требует меньше затрат энергии.

**Ербаев Е.Т.<sup>1</sup>, доктор PhD, и.о. доцент, Үсен Г.Ә.<sup>2</sup>, магистрант,  
Ербаева Н.Б.<sup>3</sup>, преподаватель, магистр**

**<sup>1</sup>Западно-Казахстанский аграрно-технический университет  
имени Жангир хана», г. Уральск, РК**

**<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный университет,  
г. Алматы, РК**

**<sup>3</sup>Казахстанский университет инновационных и  
телекоммуникационных систем, г. Уральск, РК**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМБИНИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В КАЗАХСТАНЕ**

На современном этапе развития ветроэнергетики имеется два самостоятельных направления. Первое – разработка, создание и внедрение ветроустановок (ВЭУ) большой мощности, второе – создание и внедрение ветроустановок малой мощности локального применения. Каждое из этих направлений имеет свою наиболее эффективную сферу применения, свои сложности, позитивные и негативные моменты. Следует отметить, что и в первом, и втором случаях ветроэлектрические станции (ВЭС) и установки выполняются с приме-

нием элементов силовой электроники, обеспечивающей эффективную работу ВЭУ в условиях нестабильности ветрового потока и нестационарных режимов нагрузки [1].

Ветродизельные источники электрической энергии малой мощности базируются на основе ВЭУ малой или очень малой мощности и дизельного генератора. Такие системы перспективно использовать для электроснабжения небольших потребителей (до 100 кВт), расположенных на удалении от централизованных энергосистем. ВЭУ также может докупаться к существующему дизелю. Перспективно в таких микросистемах использовать накопители электрической энергии (аккумуляторные батареи).

Теоретически, ограничений в использовании ветродизельных источников малой мощности на территории Западного Казахстана практически нет, т.к. ветровой потенциал имеется практически на всей территории области. Возникает вопрос эффективности использования ВЭУ в различных ветровых зонах.

Ветродизельные источники энергии малой мощности перспективно использовать в I ветровой зоне. Во II ветровой зоне такие системы также могут быть перспективными, но вопрос их использования требует более глубокого анализа. В III ветровой зоне малые ветродизельные источники энергии могут быть эффективны, если размещаются на возвышенностях (например, на вышках сотовой связи). В III ветровой зоне целесообразность использования ВЭУ выражена в основном в уменьшении объемов завозимого дизельного топлива [2].

Параллельная работа ВЭУ и ДЭС осуществляется за счет синхронизации по фазе и частоте между электрогенераторами различных источников. Приоритет в выработке электрической энергии предоставляется ветрогенератору. Дизельный генератор работает по остаточному принципу, дополняя или замещая ВЭУ (в случае отсутствия ветра).

Потенциал неисчерпаемой и возобновляемой энергии в Казахстане оценивается в следующих объемах:

- Энергия ветра – 1820 МВт.ч/год.
- Солнечная энергия –  $1300 - 1800 \text{ кВт.ч/м}^2 \times \text{год}$ .
- Гидроэнергия – 170 МВт.ч/год.
- Геотермальная энергия – 520 МВт.

Ветровой потенциал энергии Казахстана во много раз превышает современное потребление электроэнергии. По некоторым оценкам он составляет около 1820 млрд. кВт×ч в год и распространен на значительной территории страны.

На карте ярким цветом выделены зоны высокой ветровой активности – богатые месторождения гигантских объемов энергии (рис. 1, 2).

Казахстан может извлечь огромную пользу из чрезвычайно высокого технического потенциала солнечной энергии на его территории (рис. 3).

При определении практической целесообразности использования солнечной энергии исходят из того, что плотность ее в южных широтах в течение 1– часов достигает  $1 \text{ кВт/м}^2$ , тогда как в большинстве районов Земли средняя плотность светового потока составляет  $200\text{--}250 \text{ Вт/м}^2$ .

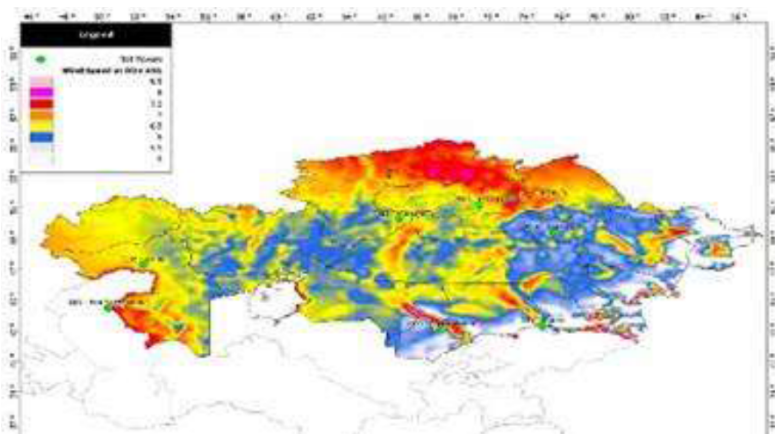


Рисунок 1 – Ветровой атлас Казахстана

В Республике Казахстан потенциал солнечного излучения увеличивается от севера к югу. Продолжительность солнечного сияния, обеспечивающего поступление лучистой энергии на горизонтальную поверхность в пределах  $1280\text{--}2300 \text{ кВт.ч./м}^2$ , составляет от 2000 до 3000 часов в год из 8760 (8736) часов.



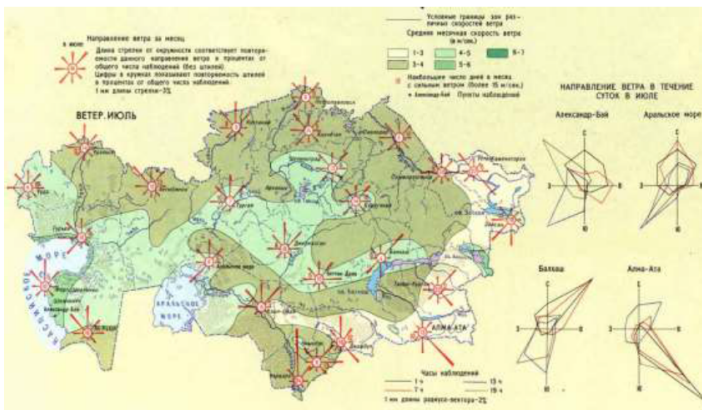


Рисунок 2 – Карта повторяемости направлений ветра

Перспективность комплексных энергетических комплексов для Казахстана очевидна. КЭС разной мощности необходимы на сельскохозяйственных фермах, отгонных пастбищах, в отдаленных поселках и экспедициях (рис. 4), кроме того, с помощью ветродвигателей возможно не только давать электроэнергию, но и поднимать и опреснять воду, обеспечивать защиту трубопроводов от коррозии, заряжать аккумуляторы, работать в мелиорации на полив и на осушение, обеспечивать аэрацию водоемов.

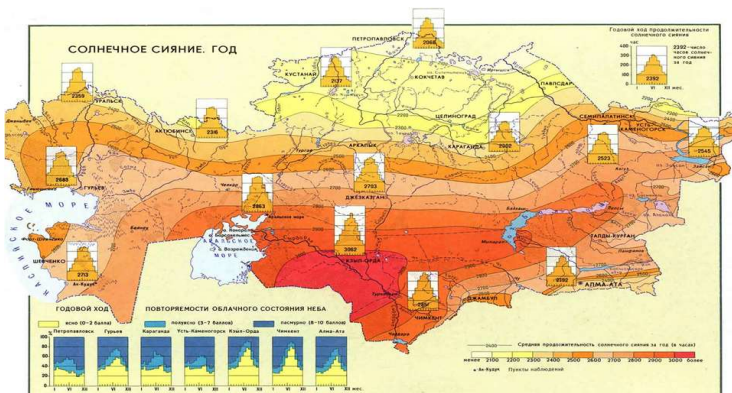


Рисунок 3 – Потенциал солнечной энергии в Казахстане.

В настоящий момент в Казахстане использование нетрадиционных источников энергии в больших масштабах не развито, однако

введены и вводятся в эксплуатацию комплексные энергосистемы (КЭС) для автономного электроснабжения удаленных объектов мощностью до 10 кВт.

Таким образом, производство электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии с частичным замещением традиционной энергетики с использованием угля, нефти, газа позволит снизить потребление невозобновляемых энергетических ресурсов, а также экологическую нагрузку на окружающую среду как на местном, так и глобальном уровне.

Одним из важных параметров использования солнечных электростанций является срок окупаемости, который определяется путём сопоставления стоимости одного кВт×часа, выработанного солнечной электростанцией и дизельной. Проведённый анализ показывает, что за счёт низких эксплуатационных затрат и бесплатного солнечного излучения, стоимость «солнечной» энергии ниже на 5–7,5 тенге. Однако делать вывод о том, что дизельные электростанции можно заменить солнечными рискованно из-за суточной цикличности и сезонной изменчивости интенсивности солнечного излучения, особенно в осеннее – зимний период.



Рисунок 4 – Комбинированная автономная система электроснабжения объекта

Одной из привлекательных сторон комбинированной солнечно – дизельной электростанции является то, что при совместной эксплуатации, когда они территориально расположены близко (в пре-

делах 100 метров) друг от друга, то для обслуживания комбинированной установки не потребуется увеличения штатов.

Однако, не смотря на то, что солнечная электростанция неприхотлива в эксплуатации, с увеличением мощности эксплуатационные затраты (очистка поверхности солнечных батарей и регламентные работы) будут расти, следовательно, и срок окупаемости тоже будет расти. Наиболее приемлемым вариантом, как по объёму капитальных вложений, так и по сроку окупаемости является 50 % перекрытие выработке электроэнергии. Например, если мощность выработка электростанции  $100 \text{ кВт} \times \text{ч}$ , то солнечная электростанция должна обеспечивать выработку  $50 \text{ кВт} \times \text{ч}$  [3,4].

При таком соотношении солнечная электростанция является вспомогательной и, работая, параллельно с дизельной снимает с неё часть нагрузки. Увеличение мощности солнечных батарей приводит к росту капитальных затрат, целесообразность которых должна оцениваться в каждом конкретном случае отдельно исходя из требований к надежности электроснабжения, категории потребителя электроэнергии и др.

При указанном соотношении выработки электроэнергии вся вырабатываемая энергия передается в нагрузку и в аккумуляровании не нуждается.

Таким образом, аккумуляторная батарея позволяет смягчить быстрые изменения генерируемой мощности солнечных батарей (например, при переменной облачности) и обеспечить тем самым более равномерную нагрузку дизель – генератора.

#### Список использованных источников

1. Степанов, С.Ф. Обеспечение эффективной работы модульной ветроэлектростанции при изменении скорости ветра и нагрузки [Текст] / С.Ф. Степанов, И.М. Павленко, Е.Т. Ербаев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6 [Электронный журнал] URL: <http://www.science-education.ru/113-11407>.

2. Дарханов, Т.Н. Проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности в Республике Казахстан // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XLVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 9(45). URL: [https://sibac.info/archive/technic/9\(45\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/9(45).pdf). (дата обращения: 07.11.2017), 335 с.

3. Артюхов, И.И. Особенности построения автономных систем электропитания на основе генераторов с изменяемой скоростью вращения вала / И.И. Артюхов, С.Ф. Степанов, Д.А. Бочкарев, Е.Т. Ербаев // Вопросы электротехнологии. – 2015. – № 1(6). – С. 59–63.

4. Artyukhov, I.I. Autonomous Power Supply System Based on a Diesel Generator and Renewable Energy Sources for Remote Rural Areas / I.I. Artyukhov, S.F. Stepanov, S.V. Molot, Ye.T. Yerbayev and others // International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) (MAY 16– 8, 2018). – Brno, CZECH REPUBLIC. – 2018. – P. 438–443 (Brno, CZECH REPUBLIC).

**Журавель Д.П., д.т.н., профессор, Болтянский Б.В., к.т.н.,  
доцент, Болтянская Л.А., к.э.н., доцент**

**Таврический государственный агротехнологический  
университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь,**

**Украина**

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ОБЪЕКТОВ АПК**

Системы альтернативного энергообеспечения, использующие общедоступные виды энергии – солнца и ветра, характеризуются невысокой степенью надёжности. Основной причиной является случайный характер этих альтернативных энергетических потоков, которые, в свою очередь, обусловлены случайными естественными процессами.

Для повышения надёжности систем альтернативного энергообеспечения объектов АПК используются ряд технических приемов: переход от пассивных к активным (управляемым) системам, аккумулирование энергии или сочетание в одну систему нескольких источников энергии разной природы происхождения. Такой подход называется комплексным использованием альтернативных источников энергии [1].

Системы, одновременно или поочередно использующие традиционные и альтернативные источники энергии, принято называть гибридными. Наиболее перспективными считаются гибридные системы в составе солнечной и геотермальной подсистем [2]. Геотер-

мальная подсистема использует низкопотенциальное тепло грунта и тепловых выбросов с помощью тепловой помпы. Некондиционное тепло приобретает повышенную температуру в обратном термодинамическом цикле с использованием энергии сети. Энергосберегающий эффект заключается в 3–6-кратном выигрыше по сравнению с прямым нагревом электрическим током. В гибридных системах теплоснабжения геотермальная подсистема включается при уменьшении потока альтернативной энергии и позволяет гарантировать стабильность системы в целом.

Одним из вариантов может быть применение солнечной тепловой системы для поддержания низкотемпературной системы отопления. В этом случае мощность солнечной тепловой системы увеличивается настолько, что она может обеспечить генерирование до 50 % необходимой теплоты на потребности отопления. Традиционный котел в этом случае будет работать как дублирующий источник. Оба источника теплоты работают на один комбинированный бак-аккумулятор, откуда теплота распределяется по системе отопления и системе горячего водоснабжения.

Типичным вариантом гибридной системы теплоснабжения объектов АПК является применение газового или дровяного газового котла, выполняющего основную теплогенерирующую функцию и солнечную тепловую систему горячего водоснабжения.

Наибольшего энергосберегающего эффекта можно достичь при применении в качестве тепловых установок средств возобновляемой энергетики. В частности, целесообразно построение системы теплоснабжения на базе тепловой помпы и солнечной тепловой системы. В этом случае тепловая помпа выполняет функцию тепловой генерации для системы отопления и функцию дублирования системы горячего водоснабжения, которая будет обеспечиваться солнечной тепловой установкой [3].

Системы электроснабжения также могут быть гибридными. Наиболее целесообразным вариантом электроснабжения объектов АПК является применение ветро-солнечных систем.

В данном случае основная нагрузка приходится на комбинированную ветровую и солнечную электросистему, выполняющую функцию автономного электроснабжения. В случае отсутствия энергии от ветроустановки и солнечной фотоэлектрической системы и аккумуляторных батарей

осуществляется питание потребителя от внешней электрической сети. В случае отсутствия электроэнергии и в наружной электросети, осуществляется включение резервного дизель-генератора. Такая система отличается высоким уровнем надёжности электроснабжения объекта.

Несоответствие носителей энергии как во времени, так и в пространстве требует использования традиционных источников топлива и энергии. Решающую роль в принятии решений по целесообразности, объёмам и технологии использования местных энергетических ресурсов могут сыграть известные интегральные параметры, а именно: количество и стоимость используемой энергии во всех её видах и формах [4]

$$Kэ = f(Bэ), \quad (1)$$

где  $Kэ$  – количество используемой энергии;

$Bэ$  – стоимость используемой энергии во всех её видах и формах.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что из экологических и экономических соображений наиболее оптимальна и надёжна смешанная (гибридная) система энергообеспечения объектов АПК, при которой возобновляемая энергетика будет сочетаться с традиционной.

#### Список использованных источников

1. Болтянский Б.В. Аналіз структури витрат енергії при виробництві сільськогосподарської продукції / Б.В. Болтянский, Л.О. Болтяньска, С.В. Сиротюк // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі. Матер. І Міжн. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, – 2020. – С. 436–442. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tst/wp-content/uploads/sites/6/boltjanskyj.pdf>.
2. Syrotiuk S. Hybrid system of power supply with application of wind and solar energy/ S. Syrotiuk, V. Syrotiuk, B. Boltianskyi // TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2017. – Vol. 17, No. 4, – P. 37–44. (in Polish).
3. Korobka S. Solar dryer with integrated energy Unit/ S. Korobka, S. Syrotyuk, D. Zhuravel, B. Boltianskyi, L Boltianska // Problemele energeticii regionale, – 2021. – 2 (50) – P. 60–75.
4. Болтянский Б.В. Энерго- та ресурсозбереження в тваринництві: Підручник / Б.В. Болтянский, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», – 2020. – 410 с.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор,  
Базулина Т.Г., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СУТОЧНОМ ЦИКЛЕ  
РАБОЧЕГО ДНЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА АПК**

В публикации [1] рассмотрено несколько вариантов бесперебойного электроснабжения потребителя: с использованием резервной линии напряжением 10 кВ, линии совместно с источниками распределенной генерации, в том числе с накопителем энергии с размещением его на территории потребителя (рисунок 1).

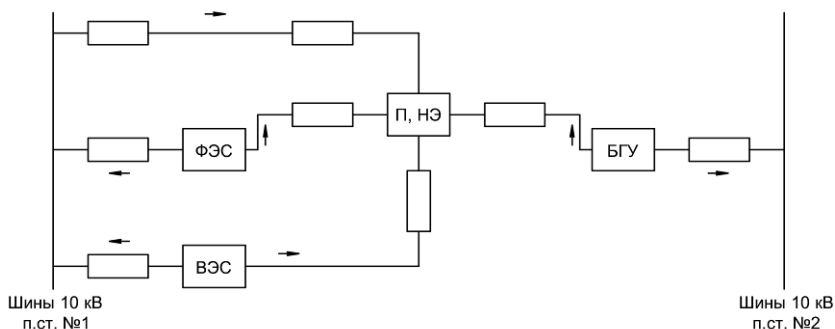


Рисунок 1 – Вариант схемы бесперебойного электроснабжения потребителя (П) при наличии фотоэлектрической станции (ФЭС), ветроэлектростанции (ВЭС), биогазовой установки (БГУ) и накопителя энергии (НЭ).

Учитывая вероятностный характер работы ФЭС и БГУ, требуется планирование объемов генерации БГУ и режимов работы НЭ (зарядка или разрядка) на обоснованно выбранных временных отрезках. Рассмотрим конкретный вариант режим работы НЭ, когда он включен по следующей схеме:

- для осуществления зарядки через коммутационный аппарат  $КА_1$  к шинам 0,4 кВ, трансформатора, подключенного к электрической сети энергосистемы;
- для питания нагрузки потребителя на некоторых временных отрезках суток через коммутационный аппарат  $КА_2$ .

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма управления режимом работы накопителя энергии в суточном цикле. Как следует из блок-схемы, в течение суток зарядка накопителя энергии осуществляется дважды (блоки 3 и 9 схемы). Первая зарядка осуществляется в период минимальных нагрузок в энергосистеме, то есть в ночные часы, когда тариф на электрическую энергию минимальный (блоки 5 и 8 схемы). Длительность зоны минимального тарифа составляет около 8 часов, чего вполне достаточно для полной зарядки накопителя энергии выбранной мощности.

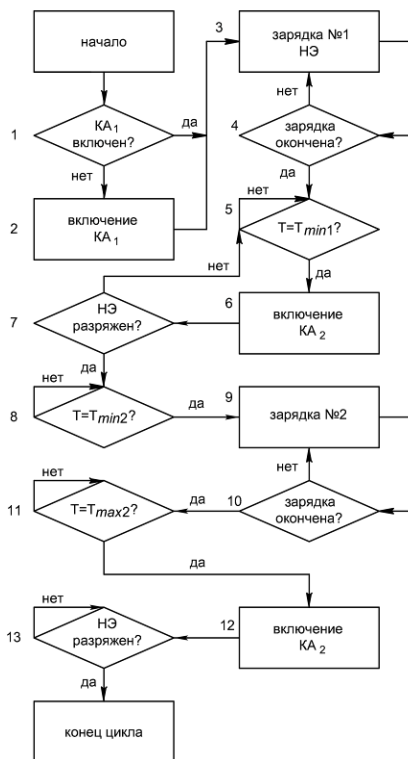


Рисунок 2. – Блок-схема алгоритма управления работой накопителя энергии в суточном цикле.

Так как зона утреннего пика энергии, в которой величина тарифа приближённо в 3 раза выше ночного, составляет 2–3 часа, разрядка накопителя энергии обеспечивается полностью, когда мощность накопителя энергии ниже пиковой нагрузки потребителя. Так как



именно такой вариант рассмотрен в данном случае, то после полной разрядки НЭ в часы утреннего пика нагрузки энергосистемы осуществляется его зарядка в часы полупиковых нагрузок (днём), когда тариф на покупку энергии также ниже максимального ( $T=T_{min2}$ , блок 8). После второй зарядки накопитель энергии включается под нагрузку в момент времени,  $T=T_{max2}$ , то есть в момент начала вечернего максимума нагрузки энергосистемы. К моменту окончания максимума, т.е. через 2–3 часа накопитель энергии разрядится и на этом суточный цикл его работа завершается.

Так как зона утреннего пика энергии, в которой величина тарифа приближённо в 3 раза выше ночного, составляет 2–3 часа, разрядка накопителя энергии обеспечивается полностью, когда мощность накопителя энергии ниже пиковой нагрузки потребителя. Так как именно такой вариант рассмотрен в данном случае, то после полной разрядки НЭ в часы утреннего пика нагрузки энергосистемы осуществляется его зарядка в часы полупиковых нагрузок (днём), когда тариф на покупку энергии также ниже максимального ( $T=T_{min2}$ , блок 8). После второй зарядки накопитель энергии включается под нагрузку в момент времени,  $T=T_{max2}$ , то есть в момент начала вечернего максимума нагрузки энергосистемы.

К моменту окончания максимума, т.е. через 2–3 часа накопитель энергии разрядится и на этом суточный цикл его работа завершается.

#### Список использованных источников

1. Забелло, Е.П. Режим потребления электрической энергии предприятиями АПК при наличии распределенной генерации / Е.П. Забелло, В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Энергетика и ТЭК. 2016. № 11. С. 44–48.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор,  
Базулина Т.Г., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
СУТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ  
НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Предприятия агропромышленного комплекса в условиях упрощенных тарифов на электрическую энергию, не стимулирующих

перенос части нагрузок из пиковых зон в непиковые, ранее практически не занимались вопросами совершенствования режимов электропотребления, хотя их доля в общем объеме электропотребления довольно значительная (более 10 % от суммарного по республике). Появление в последнее время в значительных и всё возрастающих объемах собственных энергоисточников в виде блок-станций на традиционном топливе, а также биогазовых, фотоэлектрических, ветроэлектростанций заставили потребителей агропромышленного комплекса существенным образом поменять подходы к режимным вопросам, тем более что вместе с ростом объемов электропотребления возросли и требования к надежности электроснабжения потребителей.

Рассмотрим случай, когда накопитель энергии включен в состав электрохозяйства потребителя. Тогда реализуется вполне понятный и обоснованный вариант схемы электроснабжения, согласно которому потребитель в соответствии с рассчитанным режимом с учетом своего графика нагрузки получает энергию от энергосистемы, и/или фотоэлектрической станции (ФЭС), ветроэлектростанции (ВЭС), биогазовой установки (БГУ). Накопитель энергии рассматривается как дополнительная, но управляемая нагрузка, поскольку он включается на зарядку в провалы нагрузки энергосистемы, т.е. в основном в ночные часы и при необходимости – часы полупиковых нагрузок. В часы пиковых нагрузок энергия от НЭ замещает потребителю энергию, покупаемую в энергосистеме, тем самым снижая в ней пиковую нагрузку на некоторую величину. Так как блоки ФЭС, ВЭС и БГУ имеют связь с энергосистемой, то реализуются и варианты передачи энергии в энергосистему в целях или заполнения провалов нагрузки, или покрытия ее пиков. Разумеется, в таких случаях перетоки энергии должны быть односторонними, то есть при токах от ФЭС, ВЭС и БГУ в энергосистему переток из энергосистемы должен отсутствовать и наоборот.

Рассмотрим в упрощённом варианте технико-экономическое обоснование использования накопителя энергии в данном случае на основании следующих исходных данных:  $T_{min} = T_H = 0,2$  руб/кВтч для зоны минимальных (ночных) нагрузок;  $T_{max} = T_{II} = 0,6$  руб/кВтч для зоны максимальных (пиковых) нагрузок;  $T_{III} = 0,4$  руб/кВтч для зоны дневных (полупиковых) нагрузок;  $P_{H3}$  – суммарная мощность

накопителя энергии, кВт,  $W_3$  – объем накопленной энергии за одну зарядку, кВтч.

Расчетные формулы для определения экономии платы  $\Delta\Pi$  в результате увеличения объема покупки энергии в энергосистеме на зарядку НЭ в часы с низкими тарифами и сокращения объема покупки в часы пиковых нагрузок по высокому тарифу в течение суток и года имеют следующий вид

$$\Delta\Pi_{\text{сут}} = W_3(T_{\text{п}} - T_{\text{н}}) + W_3(T_{\text{п}} - T_{\text{пп}}), \quad (1)$$

$$\Delta\Pi_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^t \Delta\Pi_{\text{сут}i}, \quad (2)$$

где  $t$  – число дней в году, в течение которых накопитель энергии использовался.

Как видно из формул (1) и (2) полагается, что в течение суток совершаются два цикла зарядки-разрядки накопителя энергии, как и представлено на блок-схеме алгоритма (см. рис.2). Значение  $t$  – это число дней в пределах года, в течение которых накопитель энергии использовался, может быть различным в зависимости от режима работы потребителя в течение года.

Используя расчётные формулы (1) и (2), определим размер снижения величины платы за электроэнергию, потребляемую из энергосистемы в течение суток и года при условии, что  $W_3=200$  кВтч,  $t=300$  дней:

$$\Delta\Pi_{\text{сут}} = 200(0,6-0,2) + 200(0,6-0,4) = 120 \text{ руб.}$$

$$\Delta\Pi_{\text{год}} = 120 \cdot 300 = 36000 \text{ руб.}$$

Учитывая удельную стоимость мощности накопителя, приведенную, например, в [1], можно рассчитывать на то, что за счёт экономии годовой оплаты энергосистеме в течение года потребитель может приобрести модули накопителя энергии мощностью  $\Delta\Pi_{\text{год}}$ :  $Z_{\text{уд}} = 36000 : 1500 = 24$  кВт.

Модули подобной мощности может накопить за одну зарядку до 70 кВтч энергии и, таким образом, можно полагать, что при принятом в примере значении  $W_3$  (200 кВтч) обеспечивается окупаемость накопителя энергии в течение трёх-четырёх лет, если учесть дополнительные затраты на монтаж и наладку коммутационной аппаратуры и защит.

#### Список использованных источников

1. Молочко, А.Ф. Оценка возможности использования новых типов электроаккумуляторов для регулирования нагрузки энергосистемы / А. Ф. Молочко, Ф. И. Молочко // Энергетическая стратегия. 2017. № 3. С. 20–21.

**Иванов Д.М., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**  
**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО**  
**АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

В последние годы с развитием силовой электроники и микропроцессорной техники в промышленности всё чаще используется частотно-регулируемый асинхронный электропривод (ЧРАЭП). Такое широкое его применение обоснованно, ведь замена морально устаревших электроприводов на ЧРАЭП позволяет повысить энергетические и динамические показатели, повысить надёжность и снизить аварийность электрооборудования за счёт устранения ударных пусковых токов, значительно упрощается процесс автоматизации и это только небольшая часть преимуществ.

Наряду с достоинствами силовые полупроводниковые преобразователи обладают таким существенным недостатком, как ухудшение электромагнитной обстановки: засорение питающей сети высокими гармониками тока. Конечно, преобразователь частоты (ПЧ) является только частью системы ЧРАЭП, но вместе с асинхронным электродвигателем (АД), и такими компонентами, как магнитные контакторы, реле и т.п. он является одним из самых сильных источников электромагнитных помех. Следует учитывать, что сам ПЧ является прибором, чувствительным к электромагнитным помехам. К настоящему времени нормативная база, регламентирующая нормы электромагнитной совместимости (ЭМС) на территории Республики Беларусь, приведена в соответствии с рекомендациями МЭК. ГОСТы в области ЭМС можно разделить на три группы [1]:

1) стандарты, накладывающие ограничения на низкочастотные помехи, передаваемые от источника ЭМС в питающую сеть;

2) стандарты, накладывающие ограничения на радиопомехи, передаваемые от источника ЭМС в радиочастотном диапазоне;

3) стандарты, определяющие устойчивость оборудования к внешним помехам.

Наиболее важную роль при внедрении ЧРАЭП играют стандарты первой группы. Так, согласно СТБ ГОСТ Р 51317.3.2-2001 накладываются ограничения на максимально допустимое значение гармонических составляющих тока (от 2 до 40 гармоники) [2].

Рассмотрим принципы подавления электромагнитных помех при использовании ЧРАЭП. Помехи на стороне питающей сети представляют собой электрические токи, поступающие в сеть через силовое подключение преобразователя и мешающие работе другого оборудования. Для предотвращения прохождения этих токов в сеть необходимо устанавливать сетевой фильтр (ЭМС). В большинстве преобразователей частоты этот фильтр встроен.

Метод предотвращения взаимного проникновения электромагнитных помех основан на высокочастотном экранировании оборудования [3]. Данное экранирование применяется как для предотвращения излучения помех, так и для защиты от них. Наилучшим способом экранирования можно считать "клетку Фарадея". Данная клетка представляет собой металлический шкаф, в который помещено оборудование.

Принципы подавления электромагнитных помех при использовании ЧРАЭП представлены на рисунке 1.

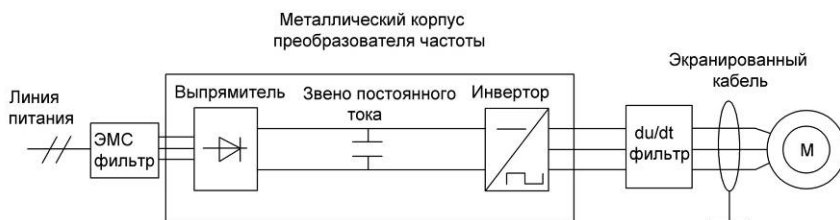


Рисунок 1 – Иллюстрация принципов подавления электромагнитных помех при использовании ЧРАЭП

Крутизна выходной характеристики ПЧ в совокупности с длинным кабелем, питающим двигатель, зачастую приводит к переходным процессам, способствующим перенапряжению на клеммах аппарата. При установке фильтра  $dU/dt$  на выходе преобразователя

удается подавить это отклонение, а также сократить токи утечки в моторном кабеле.

Особого внимания требует подключение экранов кабелей. Одна из характеристик высокочастотных токов заключается в том, что они протекают в основном по поверхности проводников. Для обеспечения низкого высокочастотного сопротивления нужно обеспечить большую проводящую поверхность. Для передачи высокочастотных токов необходимо использовать многожильный провод или медную фольгу. Такие материалы всегда используются для экранирования высокочастотных проводов. В том случае, если невозможно использовать экранирование, аналоговые и цифровые сигналы передают по витым кабелям, при таком решении сигналы становятся менее чувствительны к помехам.

Прокладывать силовые кабели нужно как можно дальше от кабелей управления. Следует придерживаться этого разделения и вне шкафа, при необходимости использовать различные лотки.

В целом, оценивая проблемы ЭМС различных типов электроприводов, следует сказать, что ПЧ, построенные на элементной базе нового поколения, в которых принимаются меры по снижению электромагнитных помех, являются более перспективными. Выбор способа решения проблем ЭМС должен базироваться на технико-экономическом расчете.

#### Список использованных источников

1. СТБ ГОСТ Р 51.317.3.2–2001(МЭК 61000–3–2:1995). Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – Минск: БелГИСС, 2001. – 48 с.

2. Парфенович, О.Н. Электромагнитная совместимость асинхронных частотно-управляемых электроприводов / О.Н. Парфенович, И.В. Соколов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 4. – С. 134–141.

3. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – 4-е изд., – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

**Иванов Д.М., ст. преподаватель,  
Равинский Н.А., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ АСКУЭ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ  
И В БЫТУ**

Программа модернизации средств учета электрической энергии до 2023 года предусматривает поэтапный вывод из обращения индукционных приборов учета энергии у бытовых абонентов и установку современных электронных приборов с дальнейшим развитием АСКУЭ. В таблице 1 приведены взятые из [1] данные в разрезе каждого РУП-облэнерго по замене индукционных электросчетчиков на электронные, начиная с 2016 года, у бытовых абонентов. К концу 2023 года планируется заменить 3,5 млн счетчиков из 4,53 млн их суммарного числа (см. рис. 1, данные на 2020 год).

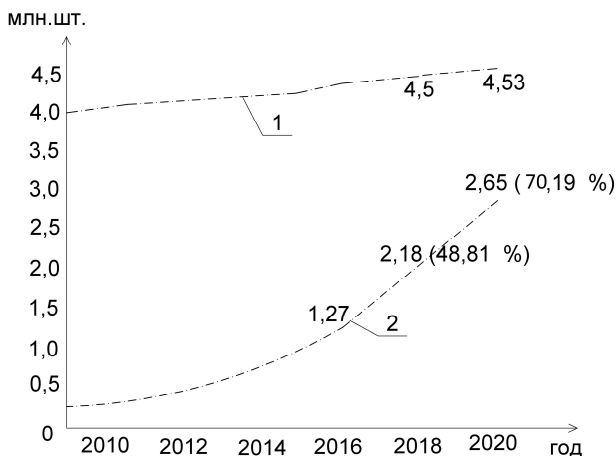


Рисунок 1 – Рост доли однофазных электронных счетчиков в общем количестве приборов учета электроэнергии за период с 2010 по 2020 год  
1 – Электронные и индукционные ЭС (сумма), 2 – Электронные ЭС

Таблица 1– План замены однофазных приборов электрической энергии, установленных у бытовых абонентов, до 2023 года, шт

| РУП-<br>облэнерго | Брест-<br>энерго | Витебск-<br>энерго | Гомель-<br>энерго | Гродно-<br>энерго | Минск-<br>энерго | Могилев-<br>энерго | ИТОГО     |
|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-----------|
| 2016              | 41 659           | 42 427             | 45 257            | 32 828            | 102 000          | 35 829             | 300 000   |
| 2017              | 55 543           | 56 569             | 60 345            | 43 772            | 136 000          | 47 771             | 400 000   |
| 2018              | 64 568           | 65 765             | 70 148            | 50 885            | 158 100          | 55 534             | 465 000   |
| 2019              | 64 568           | 65 765             | 70 148            | 50 885            | 158 100          | 55 534             | 465 000   |
| 2020              | 64 568           | 65 765             | 70 148            | 50 885            | 158 100          | 55 534             | 465 000   |
| 2021              | 65 263           | 66 472             | 70 903            | 51 431            | 159 800          | 56 131             | 470 000   |
| 2022              | 65 263           | 66 472             | 70 903            | 51 431            | 159 800          | 56 131             | 470 000   |
| 2023              | 64 568           | 65 765             | 70 148            | 50 885            | 158 100          | 55 534             | 465 000   |
| 2016-2023<br>год  | 486 000          | 495 000            | 528 000           | 383 000           | 1 190 000        | 418 000            | 3 500 000 |

Таблица 2 – Результаты реализации Программы модернизации средств учета электрической энергии до 2023 года по состоянию на 1 апреля 2021 года.

| РУП-облэнерго | Количество<br>закупленных<br>(изготовлен-<br>ных) прибо-<br>ров учета эл.<br>энергии | Количество<br>установленных<br>у бытовых<br>абонентов<br>приборов<br>учета<br>эл. энергии | Выполне-<br>ние<br>Програм-<br>мы,<br>% | Процент<br>электронных<br>счетчиков<br>к общему<br>количеству<br>по состоянию<br>на 01.04.2021 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Брестэнерго   | 0                                                                                    | 16807                                                                                     | 25,75                                   | 74,07                                                                                          |
| Витебскэнерго | 29 128                                                                               | 12 134                                                                                    | 18,25                                   | 70,31                                                                                          |
| Гомельэнерго  | 17 196                                                                               | 19 112                                                                                    | 28,75                                   | 74,86                                                                                          |
| Гродноэнерго  | 11 580                                                                               | 11 580                                                                                    | 22,52                                   | 75,02                                                                                          |
| Минскэнерго   | 105 373                                                                              | 45 148                                                                                    | 28,25                                   | 72,54                                                                                          |
| Могилевэнерго | 11 062                                                                               | 11 062                                                                                    | 19,71                                   | 69,06                                                                                          |
| ИТОГО:        | 174 339                                                                              | 115 843                                                                                   | 24,65                                   | 72,69                                                                                          |

В таблице 2 приведены результаты реализации Программы модернизации средств учета электрической энергии до 2023 года по состоянию на 1 апреля 2021 года. Как видно из таблицы на указанное время процент электронных счетчиков по отношению к их общему количеству составил от 69,06 % (РУП «Могилевэнерго») до 75,02 % (РУП «Гродноэнерго»), хотя в целом объем выполнения программы невысокий (от 18,25 до 28,75 %). Из полученных данных следует заключить, что в многоуровневых АСКУЭ электронные счетчики хотя и составляют основную долю по затратам, однако без реализации остальных мероприятий (программное обеспечение, связь и т.д.)



внедрение АСКУЭ в полном объеме может оказаться нереализованным к установленному сроку (к концу 2023 года).

Таблица 3 – Количество АСКУЭ-быт, созданных в областных энергосистемах по состоянию на 1 апреля 2021 года

| РУП-облэнерго   | Количество АСКУЭ-быт |
|-----------------|----------------------|
| Брестэнерго     | 1345                 |
| Витебскэнерго   | 2010                 |
| Гомельэнерго    | 2750                 |
| Гродноэнерго    | 1644                 |
| Минскэнерго     | 6682                 |
| Могилевэнерго   | 3134                 |
| ГПО «Белэнерго» | 17565                |

Если в 2010 году в эксплуатации находились только 1980 систем АСКУЭ-быт, то в 2020 году – 16783, т.е. число АСКУЭ выросло почти в 10 раз.

Фактор повышения стоимости энергоресурсов обусловил кардинальные изменения в отношении к учёту электроэнергии. Первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении потерь является точный учет, который реализуется внедрением АСКУЭ на предприятиях и быту. Системы автоматического учета позволяют избавиться от ошибок человеческого фактора и в целом ручного труда, благодаря чему они способны обеспечить более точный, частый и одномоментный сбор данных по всем электросчетчикам в сети.

#### Список использованных источников

1. Зувев С.М. Модернизация и автоматизация учета электроэнергии как фактор совершенствования сбытовой деятельности // Энергетическая стратегия. – 2021. – №3. – С. 22–24.

**Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент,  
Дубодел И.Б., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ  
ЗЕРНОВОЙ СИСТЕМЫ**

Фуражное зерно, измельченное и увлажненное водным раствором химреагента, представляет собой зерновую массу, которая со-

стоит из двух фаз: дисперсной среды (увлажняющий раствор хим-реагента) и дисперсной фазы (частицы плющеного зерна). Зерновая масса, расположенная между токоподводящими электродами и разделенная мембраной, представляет собой зерновую систему. Одним из основных параметров, определяющих условия ввода электрической энергии в зерновую систему, является электрическая проводимость. Для увеличения электрической проводимости перед обработкой зерно плюшат и увлажняют водным раствором поваренной соли, содержащим 1,0...1,5 % NaCl [1].

Пользуясь справочными данными [2] получена эмпирическая формула температурной характеристики проводимости раствора:

$$\gamma_p = \frac{1,612}{W} [1 + 0,0217(t - 20)] \quad (1)$$

где  $t$  – температура раствора,  $^{\circ}\text{C}$ .

Пренебрегая проводимостью зерна ячменя в сравнении с проводимостью раствора, эффективную электрическую проводимость можно определить по формуле В.И. Оделевского

$$\gamma_c = \gamma_p \frac{2 - 2\nu}{2 + \nu}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – объемная доля твердой фазы в зерновой массе.

Формула (2) позволяет определить удельное объемное сопротивление зерновой системы. Так как в процессе электротермохимической обработки зерновую массу помещаем между электродами, разделенными мембраной, то в этом случае происходит изменение концентраций ионов и соответственно изменяется общая электрическая проводимость зерновой системы.

При небольших концентрациях раствора (менее 0,854 моль/л) изменение проводимости раствора можно считать линейным. Тогда формула (2) запишется в виде

$$\gamma_c = \frac{1,612(2 - 2\nu)(C_i^{\text{онач}} - \Delta C_i^o)}{W(2 + \nu)C_i^{\text{онач}}} [1 + 0,0217(t - 20)], \quad (3)$$

где  $\Delta C_i^o$  – текущее значение изменения концентрации ионов в объеме раствора за счет переноса;

$C_i^{\text{онач}}$  – начальное значение концентрации ионов в объеме раствора.

Для проверки возможности практического применения формулы (3) провели экспериментальное определение удельного объемного сопротивления зерновой системы по методике [3].

На рисунке 1 приведена зависимость усредненной удельной электрической проводимости зерновой системы от температуры обработки (модуль увлажнения  $W$  изменяется от 0,8 до 1,2). Как видно из рисунка 1, расчетная температурная характеристика зерновой системы согласуется с экспериментальными данными и удовлетворительно ложится в диапазон допустимых значений, определенных по экспериментальным данным.

Таким образом, эмпирическая формула (3) с достаточной точностью согласуется с экспериментальными данными, погрешность не превышает  $\pm 13\%$  и может быть использована при расчете технологических параметров процесса электрообработки зерна.

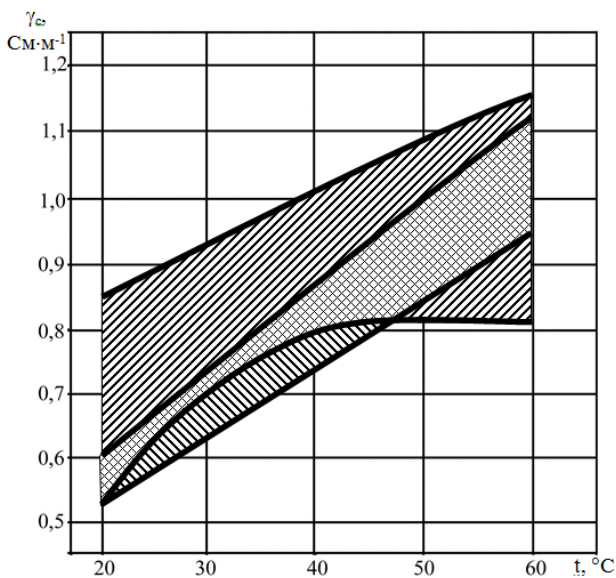


Рисунок 1 – Температурная характеристика удельной электрической проводимости зерновой системы:

-  диапазон изменений по экспериментальным данным;
-  диапазон изменений по расчетным данным;
-  совпадение экспериментальных и расчетных данных

#### Список использованных источников

1. Корко, В.С. Повышение эффективности процессов переработки и контроля влагосодержания злаков электрофизическими методами: монография. / В.С. Корко – Мн.: БГАТУ, 2006. – 349 с.
2. Добош Д. Электрохимические константы. Справочник для электрохимиков. – М.: Мир, 1980. – 365 с.
3. Радьков, А.В. Методы измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов / А.В. Радьков, А.А. Малаханов. Актуальные вопросы технических наук : материалы V Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2019 г.). – Санкт-Петербург : Свое издательство, 2019. – С. 18–24.

**Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент,  
Крылова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИБОРНЫЕ МЕТОДЫ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ  
МАСТИТА У КОРОВ**

Республика Беларусь входит в пятерку ведущих стран мира по экспорту молочной продукции. Объемы производства молока составляют около 9 млн. тонн в год. Обеспечение его качества и рентабельности производства – важнейшая социально-экономическая задача. В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 31449-2013 “Молоко коровье сырое. Технические условия” данный продукт должен отвечать усановленным физико-химическим показателям. Это: массовая доля жира, массовая доля белка не менее 2,8%, кислотность от 16,0 до 21,0 включительно градусов Тернера, массовая доля сухих обезжиренных веществ молока (СОМО) не менее 8,2%, группа чистоты не ниже II, плотность не менее 1027,0 кг/м<sup>3</sup>, температура замерзания не выше минус 0,520 градусов Цельсия, содержание самотических клеток в 1 см<sup>3</sup> не более 4·10<sup>5</sup>, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, колониеобразующих единиц в 1 см<sup>3</sup> (КМАФАнМ, КОЕ) не более 1·10<sup>5</sup>. Наибольшее влияние на эти показатели оказывают различные болезни коров и особенно мастит, который при отсутствии лечения не только делает

не пригодным к употреблению молоко, но и приводит к летальному исходу животное. Мастит дойных коров – это воспаление молочной железы, инфекционное заболевание. Его провоцируют патогенные микроорганизмы. В молочную железу они проникают через сосковые каналы, раны и по крови, из других органов при развитии в них воспалительных процессов. Усугубляет ситуацию оставшееся молоко в протоках (после отёла корову плохо раздоили, или не полностью выдоили, или вообще не доили), повреждение вымени (удар, укус насекомых), не соблюдение гигиены доения. Поэтому своевременное выявление мастита на стадии до проявления клинических признаков болезни позволяет не допускать его дальнейшего развития и получать высококачественное молоко.

Известны физико-химические, цитологические и бактериологические методы выявления мастита у коров [1]. Анализ приведенных методов диагностики мастита показывает, что все они требуют лабораторных исследований и проводятся для каждой коровы в отдельности после визуального осмотра животного или при наличии других факторов, связанных с качеством молока. При современных технологиях производства молока, использовании молочно-доильных залов, эти методы не предотвращают попадание молока от болеющих коров в общий молокосборник. Наиболее оперативно проводить диагностику мастита позволяет сигнализаторы молока ЭКОТЕСТ-303 и ЭКОТЕСТ-303П. Сигнализатор мастита ЭКОТЕСТ-303 предназначен для одновременной сравнительной оценки 4-х проб молока от одного животного. Известно, что при возникновении воспалительного процесса в вымени изменяется не только качественный состав молока, но и его физико-химические свойства, в частности, его электропроводность. Принцип действия сигнализатора ЭКОТЕСТ-303 основан на одновременном измерении и сравнении удельной электропроводности молока (УЭМ) из каждой доли вымени. Молоко, полученное из доли, пораженной маститом, характеризуется повышением содержания ионов хлора, что приводит к повышению УЭМ. Прибор выявляет в одной или более проб увеличение УЭМ по сравнению с базовым минимальным значением на 10 % и более, что, соответственно, дает основание подозревать наличие субклинического мастита в конкретной доле вымени. Если значения УЭМ отличаются менее, чем на 10 %

вероятность субклинического мастита считается недостоверной. Но и этот прибор находится в лаборатории и требует взятия проб молока с каждого соска вымени. Поэтому сделаны приборы «Экотест-303П» – для выявления у коров заболевания маститом непосредственно во время доения. В модели «Экотест-303П» применяется микропроцессорное управление алгоритмами калибровки, измерения и индикации. Имеет четыре канала измерения электропроводности для реализации сравнительного метода анализа параметров молока по четырем долям вымени (встраивается в молочный коллектор доильного аппарата). Возможен выход и передача информации о наличии мастита на вышестоящий контроллер или компьютер. «Экотест-303П» отличается более высокой достоверностью и оперативностью выявления заболевания вымени коров маститом на ранней (субклинической) стадии. Разработчик-изготовитель – НПП «ЭКОНИКС» (Москва).

Приборный метод, основанный на изменении электропроводности молока, для диагностики маститов применяется во многих странах мира (Японии, Голландии, Германии, Англии, Швеции и других). Известно, что электропроводность молока связана с содержанием в нем ионов натрия, калия, хлора и других химических элементов. При наличии мастита увеличивается содержание солей в молоке и соответственно УЭМ до 1,3 См/м. [2]. На кафедре электротехники ведутся работы по разработке сенсорного детектора электрохимических показателей молока. Поставлена задача увеличить производительность ветеринарного обследования молочного стада по сравнению с диагностикой мастита комплексом традиционных лабораторных методов. Установлено, что наибольшие изменения в качестве молока больных маститом коров регистрируются в числе соматических клеток, ионном составе (удельной проводимости) и в составе белковой фракции [3]. При выявлении заболевания удой должен автоматически переводиться в специальный молокопровод несортного молока. Перспективным является определение электрического сопротивления молока (импеданса) в широком диапазоне частот (метод импедансной спектроскопии).

#### Список использованных источников

1. Бактериальный мастит у коров /А.И. Краевский, М.В. Рубленко, Г.П. Дюльгер и др. – Сумы: «Сумской национальный аграрный университет», 2014. – 215 с.
2. Кирсанов, В.В., Милешина, О.В. Способы и технические средства определения ранней диагностики мастита у коров и отделения аномального молока в потоке при доении на доильных установках//Вестник ВНИТИМЖ – 2020. – № 2. – С. 44–48.
3. M.N. Alhussien, A.K. Dang. Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview. Veterinary World, EISSN: 2231-0916. [www.veterinaryworld.org/Vol.11/May-2018/1.pdf](http://www.veterinaryworld.org/Vol.11/May-2018/1.pdf) P. 562–577.

**Козловская И.П., д.с.-х.н., Курочкин В.А., инженер  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА  
НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИСТОВОГО АППАРАТА  
РАСТЕНИЙ САЛАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ  
В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ**

Среди зеленных тепличных культур приоритет, несомненно, принадлежит листовому салату. В 100 г салата листового 1,36 г белков, 0,15 г жиров, 2,9 г углеводов. Помимо этого достаточно много кальция, магния, калия и фосфора; целый витаминный комплекс – А, В (1, 2, 3, 4, 5, 6), С, К, Е и др.; большой набор микроэлементов: йод, марганец, молибден, калий, кальций, железо, кобальт, медь, бор. При таком богатом составе калорийность листового салата всего 16–25 калорий [1].

В промышленных масштабах в Республике Беларусь салат листовой выращивают методом проточной гидропоники. Требования к условиям произрастания наиболее полно реализуются при выращивании этой культуры на конвейерных салатных линиях [2]. При выращивании салата с использованием такой технологии, которая позволяет оптимизировать физические параметры субстрата и условия питания растений, особую роль приобретает режим досвечивания [3].

Рост растений салата происходит путем удлинения междоузлий. На каждом узле стебля формируется по одному листу розетки, а верхушечная почка не прекращает роста. Если междоузлия розетки начинают удлиняться, образуется цветочный стебель. При этом салат утрачивает потребительские качества. Чаще всего переход к цветению провоцируется неправильно организованным досвечиванием растений. Поэтому при выращивании листового салата в регулируемых условиях необходимо путем оптимизации условий освещенности добиваться максимального развития вегетативных органов и не допускать цветущности.

Нами **изучено** развитие листового аппарата растений салата при искусственном досвечивании. В качестве источников света использованы LED-светильники с различным соотношением белого, синего и красного света.

Важнейшим показателем, характеризующим рост, развитие и потребительскую ценность салата листового, являются количество сформировавшихся на растении листьев и общая площадь листового аппарата. Площадь листьев определяли в конце вегетации растений [4].

Чтобы подсветка растений была эффективной, необходимо создать спектр света, близкий к дневному, а еще лучше – усилить красную и синюю части спектра [3].

Независимо от качества досвечивания, за вегетационный период на всех контрольных растениях сформировался листовой аппарат, который позволяет отнести контрольные растения к отвечающим требованиям ГОСТ 33985-2016.

Однако, несмотря на то что у всех контрольных растений листового салата сформировалось количество листьев, соответствующее требованиям стандарта, средняя площадь листового аппарата различалась весьма существенно (рис.1).

При использовании светодиодов белого цвета средняя площадь листьев у контрольных растений составила 154,2 см<sup>2</sup>. Усиление синего цвета обеспечило достоверную активизацию вегетативного роста и позволило получить растения с площадью листового аппарата 163,7 см<sup>2</sup> (НСР<sub>05</sub> 1,1).

При усилении красного цвета площадь листьев растений салата меньше, чем у растений, выращенных при досвечивании белыми светодиодами и при усилении синего. При этом у единичных расте-

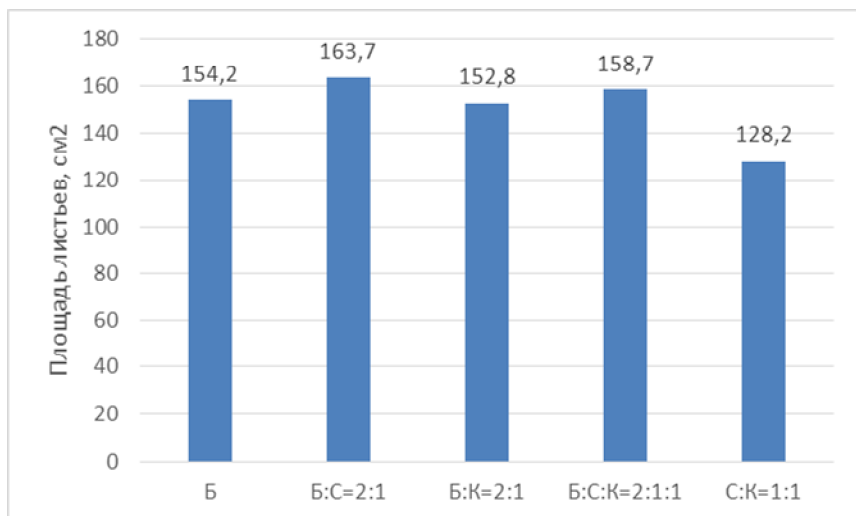


ний отмечена склонность к цветущности. И хотя полноценный цветонос не сформировался, растения выбракованы.

При одновременном усилении синего и красного цвета средняя площадь листового аппарата растений оказалась выше, чем при досвечивании белым и белым с усилением красного цвета. Склонность к цветущности не проявлялась.

Для формирования листового аппарата растений листового салата наименее эффективным оказалось досвечивание, исключаящее белый и сочетающее синий и красный цвет.

Таким образом, для досвечивания растений листового салата при выращивании в зимних теплицах методом проточной гидропоники целесообразно усиливать белый свет синим. Этот технологический прием стимулирует вегетативное развитие растений, что является особенно значимым при выращивании зеленных культур.



Примечание: Б – белый свет, С – синий свет, К – красный свет.

Рисунок 1 Площадь листового аппарата растений салата при досвечивании с различным спектром

#### Список использованных источников

1. Ценная овощная культура – листовый салат, обсудим его пользу и возможный вред [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://foodexpert.pro/produkty/ovoshhi/listovoy-salat.html> – Дата доступа: 9.11.2021.

2. Выращивание салата методом гидропоники [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gidro-sad.ru/stati-gidroponika/vyrashchivanie-salata-na-gidroponike> – Дата доступа: 9.11.2021.

3. Как правильно сделать освещение теплиц с помощью светодиодных ламп [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sadda.ru/obustrojstvo/led-dlya-teplic.html> – Дата доступа: 28.11.2021.

4. Козловская И.П., Головатая Е.А., Сакова Е.А. «Определение площади листового аппарата растений». Информационный ресурс /Государственный регистр информационных ресурсов (№1271712977 от 21.09.2017 г.).

**Кондратьева Н.П., д.т.н., профессор; Большин Р.Г., к.т.н.;  
Краснолуцкая М.Г., к.т.н.; Ваштиев В.К., Ахатов Р.З.,  
Ваштиева А.В., Шишов А.И.**

**Ижевская государственная сельскохозяйственная академия,  
Ижевск, Россия**

## **ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В АПК**

Приводится описание использования цифровых инновационных энергосберегающих технологии на примере выращивания насекомого – большой восковой моли и ультрафиолетового облучения (УФО) семян. Предлагается использовать автоматизированные системы и ПИД регулятор для управления показателями микроклимата при выращивании большой восковой моли и поддержания необходимой дозы УФО для повышения эффективной обработки семян.

Мониторинг специальной литературы выявил уникальное насекомое – восковую моль, которая содержит изученные и неизученные ферменты, комплекс аминокислот и витаминов, позволяющих ее использовать в медицине, ветеринарии, рыболовстве, косметологии и в других отраслях. Кроме того, последние исследования зарубежных и российских ученых показывают, что личинки *G.mellonella* способны переваривать синтетические полимеры [1, 2, 3]. Однако

при всех ее положительных свойствах большую восковую моль не выращивают в промышленных масштабах из-за отсутствия специальных помещений, оснащенных цифровыми инновационными энергосберегающими устройствами, позволяющими управлять микроклиматом в этих помещениях (в инсектариях). Создание комфортных условий для насекомых напрямую влияет на скорость роста популяции и качества конечного продукта. Для управления микроклиматом в инсектарии будем использовать ПИД управление, то есть пропорционально – интегрально-дифференциальное управление системой с обратной связью. В последнее время набирает популярность ультрафиолетовое облучение (УФО) на базе современных светодиодов, так как является инновационным, энергоэффективным, экологически чистым способом. При этом возможно подобрать наиболее эффективную длину волны УФО. Существующие установки для предпосевной обработки семян в большинстве случаев стационарны и используются в лабораториях. Они не предназначены для эксплуатации в промышленных масштабах [7, 10]. Поэтому необходимо предложить инновационные и более эффективные способы УФО. Например, двустороннее УФО; кольцевое УФО, излучающее внутрь кольца; объемное УФО семян во взвешенном состоянии; УФО семян на конвейере; коллинеарное направление векторов скорости движения облучаемой среды и потока УФ-излучения. Таким образом, точность и эффективность дозы УФО обеспечивается сочетанием двух факторов: величиной интенсивности потока УФ, падающего на поверхность, и высотой слоя семян, которая определяет общую скорость перемещения среды. Эффективность этого способа, несомненно, определяется обоснованным применением цифровых инновационных энергосберегающих технологий для контроля дозы УФО в режиме on-line с помощью микропроцессорной автоматизированной системы управления.

Таким образом, применяя цифровые инновационные технологии можно достигнуть энергосберегающего эффекта при регулировании климатических показателей с помощью ПИД регулятора. Применение микропроцессорной автоматизированной система для поддержания требуемой дозы УФО семян позволит разработать инновационную энергосберегающую, экологически чистую установку, позволяющую повысить качество предпосевной обработки семян.

#### Список использованных источников

1. Kondrateva N. P. et al. Effect of optical radiation on greater wax moth (*Galleria mellonella* L.) – pest of bee colonies //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – Т. 433. – №. 1. – С. 012036.
2. Кондратьева Н. П. и др. Результаты опытов по применению световых энергосберегающих электротехнологий для отлова насекомых //Вестник НГИЭИ. – 2019. – №. 12 (103).
3. Кондратьева Н.П., Бузмаков Д.В., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г Цифровые световые технологии для управления поведением *Galleria mellonella* Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 1. С. 78–83.

**Корко В.С., к.т.н., доцент Кардашов П.В., к.т.н., доцент  
Дубодел И.Б., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ СРЕДЫ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
КАЧЕСТВА КОРМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД  
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

В электротехнологических методах при реализации производственных процессов используют энергию электромагнитного поля для непосредственного воздействия на обрабатываемый материал (или с преобразованием в ходе процесса в другие виды энергии: тепловую, механическую, химическую, биологическую) с целью получения заданного технологического эффекта. Например, в процессах обработки кормовых материалов технологический эффект может заключаться в повышении переваримости, усвояемости, обменной энергии, вкусовых и санитарных качеств при минимальных затратах.

Перспективными являются технологии обработки влажных или искусственно увлажненных кормов путем пропускания электрического тока или электроактивации сред. С помощью электрического тока можно сочетать термическое (объемный ввод энергии, высокая интенсивность и равномерность нагрева) и физико-химические воздействия (электролиз, насыщение ионами, повышение массопереноса, проницаемости, активности ионов), т.е. интенсифицировать хи-

мические превращения и снизить температуру обработки и расход энергии, прибегнув к нетепловым эффектам.

При этом активация сред и необходимые преобразования веществ могут происходить непосредственно в рабочей электродной камере (прямая электроактивация) и косвенно путем предварительной активации среды и последующего использования полученных продуктов в том или ином технологическом процессе.

В качестве примеров косвенной активации можно привести технологии использования заранее приготовленного анолита для консервирования силоса, обеззараживания или стерилизации инструментов и оборудования, а также применения католита, например, для раскисления кормов или поения животных. К методам прямой электроактивации сред можно отнести технологии электрокоагуляции белков молочной сыворотки, картофельного сока, электротермохимической обработки фуражного зерна [1...3] и т.п.

Применение анолита взамен химических консервантов при консервировании влажного корма способствует подкислению среды, дезинфицированию массы, ингибированию остаточного дыхания клеток, подавлению деятельности масляно-кислых, уксусно-кислых и молочно-кислых бактерий и дрожжей, дает возможность вести закладку корма при неблагоприятных погодных условиях. Католит успешно применялся в опытах для поения молодняка животных (1 раз в неделю вместо водопроводной воды) и раскисления силоса. В результате опытов за 1 месяц приросты живой массы возросли на 12...20 %.

Модификация и перевод высокомолекулярных соединений (углеводов, белков, лигнина, целлюлозы и других составляющих продуктов и кормов) в более низкомолекулярные для повышения переваримости, которые происходят при различных способах обработки, имеет в своей основе физико-химическую природу. Например, при высокой температуре (100 °C и выше) и низкой влажности происходит декстринизация, а при высокой влажности и температуре 60...70 °C – клейстеризация крахмала зерна, способствующие повышению его переваримости и усвояемости.

Для подтверждения эффективности метода прямой электроактивации провели сравнительные исследования по оценке степени переваримости образцов увлажненного плющеного зерна, обработанных до одинаковой температуры 80 °C: нагревом в термостате;

переменным током; постоянным током; постоянным током с разделительной мембраной в анолите и католите. По данным опытов степень переваримости питательных веществ зерна, определенная методом *in vitro*, на 15...20 % повышается при обработке переменным и постоянным током, но еще в большей степени (на 50...55 % по сравнению с контролем) возрастает в кислой и щелочной средах, созданных методом электроактивации. Результаты исследований влияния режимов обработки подтверждают, что химическую активность сред, скорость модификации высокомолекулярных соединений кормов определяет их кислотность или щелочность, определяемые величиной pH.

Аналогичные результаты получены при оценке стерилизующего эффекта различных методов обработки фуражного зерна электрическим током: переменным, постоянным, постоянным с разделительной мембраной. В процессе опытов изменяли параметры среды (кислая, нормальная, щелочная), конечную температуру (от 60 до 90 °C). Установлено, что в нормальной среде постоянный ток обладает в десятки раз большим бактерицидным эффектом в сравнении с переменным током даже при низкой температуре (60 °C), что объясняется процессами электролиза на границах раздела фаз и электрокинетическими явлениями. С возрастанием температуры до 90 °C повышается энергия, химическая активность молекул и ионов, что усиливает стерилизующий эффект в десятки раз даже в нормальной среде. Наибольший эффект подавления жизнедеятельности микроорганизмов достигается при обработке постоянным током с разделительной мембраной, осуществляющей активацию и разделение сред на кислую и щелочную фракции.

На основании полученных результатов исследований можно определять технологические режимы и параметры методов обработки электрическим током различных материалов, в том числе жидкостей (водных растворов, сточных вод, оборота и других отходов производства).

#### Список использованных источников

1. Корко В.С., Кардашов П.В. Исследование электротехнологии активации растворов в кормоприготовлении и поении животных. Агропанорама, 2019, № 3. – С. 14–17.

2. Дубодел И.Б., Кардашов П.В., Корко В.С., Инновационная технология электрообработки картофельного сока. Сборник научных статей Международной НПК «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве». – Минск, БГАТУ, 2018 г. – С. 318–319.

3. Кардашов П.В., Корко В.С., Дубодел И.Б. Исследование процесса электротермохимической обработки фуражного зерна. Сборник научных трудов по материалам Международной НПК «Инновационные направления электрификации сельскохозяйственного производства», 21 ноября 2019г. / ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА. – Ярославль, 2020. – С. 30–33.

**Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Демидков С.В., к.т.н., доцент,  
Гаель И.А.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
СПОСОБ ХОЛОДНОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ ЖИДКИХ  
ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

С целью очистки жидких пищевых продуктов (молоко, соки, вода от болезнетворных микроорганизмов) используются традиционные термические методы обработки. Однако термические методы приводят к снижению содержания витаминов в молоке и соках после обработки.

С целью устранения недостатков вышеперечисленных способов был разработан метод воздействия на жидкие пищевые продукты высокочастотным электромагнитным полем [1].

В данной статье теоретически обоснован способ обработки жидких пищевых продуктов электростатическим полем, требующий минимальных энергозатрат.

Как известно, в неоднородной среде, помещенной во внешнее электрическое поле, на границах неоднородностей возникают поперечные силы, действующие вдоль направления вектора напряженности электрического поля [2]. С целью уничтожения микроорганизмов путем их механического разрушения предлагается воздействовать на молоко электростатическим полем.

При определении напряжений внутри микроорганизма примем схему распределения электрического поля вокруг и внутри микроорганизма, показанную на рис.1. и воспользуемся выражением механического напряжения, возникающего на границе сред с разной диэлектрической проницаемостью в электрическом поле [2]:

$$\sigma_n = D^2 \cdot (1/\varepsilon^{(e)} - 1/\varepsilon^{(i)})/2, \quad (1)$$

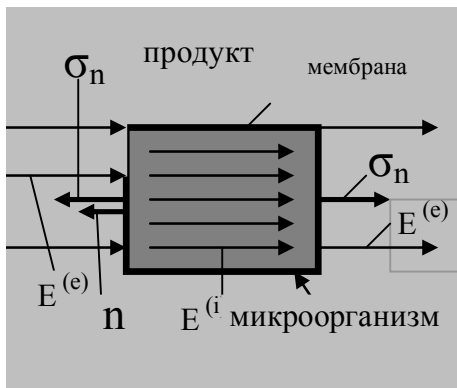


Рис. 1 Схема распределения электростатического поля вокруг и внутри микроорганизма

где  $\sigma_n$  – тензор механических напряжений на границе микроорганизма,  $\varepsilon^{(e)}$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды вне бактерии,  $\varepsilon^{(i)}$  – относительная диэлектрическая проницаемость микроорганизма,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $D$  – величина вектора электрического поля ( $D = \varepsilon_0 \varepsilon^{(i)} E^{(i)} = \varepsilon_0 \varepsilon^{(e)} E^{(e)}$ ).

В [2] показано, что электростатическое поле границе сред с разной диэлектрической проницаемостью создает механическое напряжение, направленное нормально к поверхности раздела сред.

Проанализируем возможные напряженные состояния микроорганизма, помещенного в электростатическое поле.

1. Если  $E^{(i)} < E^{(e)}$ , (т.е.  $\varepsilon^{(i)} > \varepsilon^{(e)}$ ), то  $\sigma_n > 0$ . В этом случае на микроорганизм действуют растягивающие напряжения со стороны источника электрического поля. В частности, если  $E^{(i)} = 0$  (вещест-



во микроорганизма имеет высокую проводимость ( $\epsilon^{(i)} = \infty$ ), напряжения растяжения максимальны и равны  $\|\sigma_n\| = \frac{\epsilon^{(e)} \epsilon_0}{2} E^{(e)2}$ .

2. Если  $E^{(i)} > E^{(e)}$  (т.е.  $\epsilon^{(i)} < \epsilon^{(e)}$ ), то  $\sigma_n < 0$ . В этом случае на микроорганизм действуют сжимающие напряжения.

Т.е. в любом случае электростатическое поле внешнего источника приводит к механической деформации микроорганизма и при определенной амплитуде к его разрушению и гибели.

Оценка параметров механических напряжений, создаваемых электростатическим полем на поверхности мембраны микроорганизма.

Считаем, что  $\epsilon^{(i)} \in [1, \infty]$ . Тогда  $\sigma_n \approx \frac{\epsilon_0 \epsilon^{(e)}}{2} E_x^{(e)2}$ . Поскольку  $\epsilon^{(e)} = 3$  [2], а величина напряженности электростатического поля, требуемого для разрыва микроорганизма, составляет от  $10^3$  кВ/м до  $10^4$  кВ/м (при этом  $\sigma^{(i)} \in [10, 10^3]$  н/м<sup>2</sup>). В [1] экспериментальным путем было показано, что при воздействии переменного электрического поля с напряженностью  $E^{(e)} \approx 3 \cdot 10^3$  кВ/м происходит пастеризация молока. Этот факт подтверждает работоспособность предложенной в данной статье теоретической модели.

### Заключение.

1. Предложен способ электростатического воздействия на молоко с целью его обеззараживания и консервации, исключающий фактор термического воздействия и требующий минимума энергозатрат.

### Список использованных источников

1. Sepulveda, D.R. Production of extended-shelf life milk by processing pasteurized milk with pulsed electric fields. . D.R. Sepulveda, M.M. Góngora-Nieto, J.A. Guerrero and G.V. Barbosa-Cánovas.// Journal of Food Engineering. – 2005. – Volume 67. – Issues 1-2. – P. 81–86/

2. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред/ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М: Наука, 1982, 661 с.

**Кривовязенко Д.И., к.т.н., доцент**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА**  
**БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ**

Промышленное производство электрокоагуляторов белков молочной сыворотки, белков картофельного сока, других коллоидных растворов животного и растительного происхождения отсутствует [1, 2].

Разработаны, но серийно не производят электрокоагуляторы бездиафрагменные (без мембран) для коагуляции и очистки стоков промышленных предприятий от разных химических загрязнений, например, ионов хрома, нефти и других. Работа этих коагуляторов основана на электролитическом растворении электродов из стали или алюминия, образование гидроокиси этих металлов, которая и является центрами коагуляции коллоидных частиц [2].

Разрабатываемый электрокоагулятор является диафрагменным (мембранным) с нерастворимыми (малорастворимыми) электродами. Электрокоагуляция протекает в обеих камерах электрореактора – анодной и катодной. Коагуляция основана на создании в молочной сыворотке  $pH$ , соответствующего изоэлектрическим точкам коагуляции белков, когда дзета-потенциал белковой молекулы принимает значение, при котором сила притяжения молекулы белков превосходит силы их отталкивания.

Исходя из вышесказанного, главным узлом электрокоагулятора является электрореактор к расчету которого и сводится разработка его конструкции. Другие узлы – это камеры отстоя сыворотки и осаждения твердых фракций, аэрация подачей воздуха или электрофлотацией, можно заимствовать из известных решений.

Разработка конструкции электрореактора требует решения следующих вопросов: нахождения оптимального соотношения объемов анодной и катодной зон; скорости и времени движения сыворотки в зонах; обеспечения разного по величине количества электричества в зонах, при его заданной величине технологическими требованиями; не превышения температуры сыворотки более 25...28 °С в зоне коагуляции.

Ограничение по температуре вытекает из теоретического рассмотрения процесса коагуляции. Если использовать мембрану с

удельной проводимостью  $0,7 \cdot 10^{-3}$  См/м, то теоретический расчет показывает максимальную возможную температуру на поверхности мембраны 28 °С.

Исследован ряд конструктивных решений исполнения электро-реактора. Наибольший интерес из них представляют устройства с параллельным и последовательным движением сыворотки в анод-ной и катодной зонах [3, 4, 5].

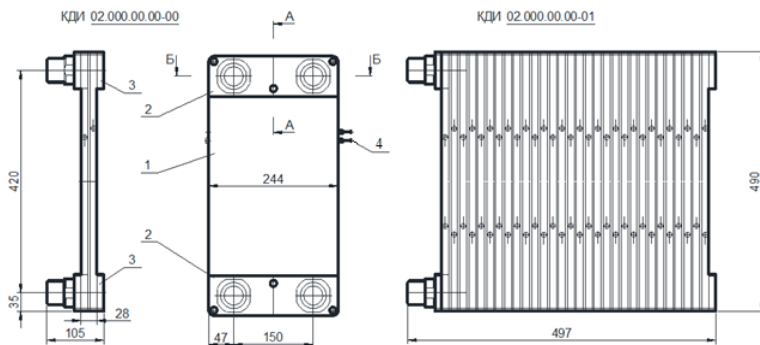


Рисунок 1 – Сборочный чертеж электрореактора с параллельным соединением электродных зон: 1 – стенка корпуса; 2, 3 – входные и выходные отверстия; 4 – токоподводящие винты

На рисунке 1 показана конструкция части электрореактора с параллельным движением сыворотки в зонах.

Испытания электрореактора в лабораторных условиях выявили следующие недостатки конструкции: ограниченность свободного выхода пены; трудность создания управляемого значения  $pH$  в катодной и анодной зонах; различную величину коагуляции белков по зонам – в анодной до 80 %, в катодной до 20 %. Следовательно, в целом коагуляция не превышает 60...70 %. Подобная конструкция электрореактора не может быть использована в электрокоагуляторах молочной сыворотки.

Коагуляция белков зависит от соотношения объемов анодной и катодной зон. Это установлено не только нашими исследованиями, но и в работах других авторов [4, 5, 6].

В результате разработана конструкция электрореактора, представленная на рисунке 3. Сыворотка поступает в верхнюю часть анодной зоны, проходит между электродом-анодом и мембраной,

огибает внизу реактора мембрану, перетекает в нижнюю часть катодной зоны и подымается вверх, между анодом и мембраной выходит из реактора. Удаление сыворотки, пены, газов из любой зоны свободное, обусловленное только силами гравитации.

Величину коагуляции белков достаточно легко регулируют скоростью движения сыворотки между электродами (подачей) при заданном напряжении на электродах.

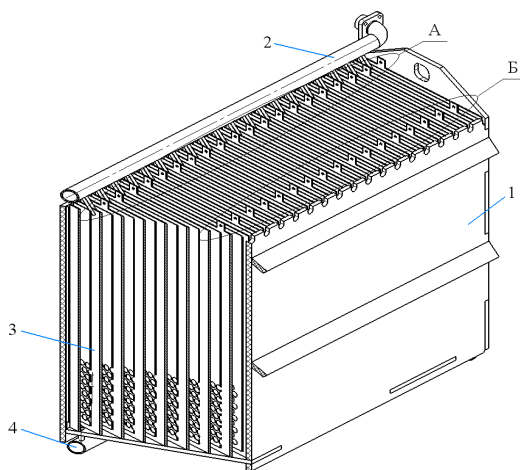


Рисунок 3 – Общий вид электрореактора с последовательным соединением электродных зон: 1 – корпус; 2 – труба подачи исходной сыворотки; 3 – мембрана; 4 – слив сыворотки, промывка электродов; А, В – электродные группы

Исходя из экспериментальных и расчетных результатов электро-реактор должен иметь плоскопараллельные электроды, расстояние между которыми создает напряженность электрического поля  $600...700 \text{ В/м}$  при напряжении питания  $12 \text{ В}$ . Соотношения анодной и катодной зон как  $1:2$ . Между электродами должна быть мембрана из полиамидной плёнки толщиной  $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , установленная на расстоянии  $(1,4...2) \cdot 10^{-2} \text{ м}$  от катода и  $(0,7...1) \cdot 10^{-2} \text{ м}$  от анода. В нижней части реактора необходим свободный проток сыворотки из одной зоны в катодную. Движение жидкости свободное, под действием сил гравитации. Скорость движения сыворотки должна обеспечивать ее нахождение между электродами обеих зон в течение  $1600...1800 \text{ с}$ . Эти требования выполняют величиной напряжения питания, удельной проводимостью и подачей сыворотки, геометрии-

ческими размерами электродной системы реактора, которые находят расчетом.

#### Список использованных источников

1. Тихомирова, Н.А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов : учеб. пособие / Н.А. Тихомирова. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 560 с.
2. Колесников, В.А. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод / В.А. Колесников, Н.В. Меньшутина. – М. : ДеЛи принт, 2005. – 266 с.
3. Способ коагуляции белка : пат. RU 2 055 622 С1 / Л.С. Герасимович, Е.М. Заяц, И.Б. Ющенко. – Оpubл. 10.03.1996.
4. Алексеев, Е.В. Основы технологии очистки сточных вод флотацией : монография / Е.В. Алексеев – М. : Издательство АСВ, 2009. – 136 с.
5. Литманова, Н.Л. Совершенствование технологии локальной очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Н.Л. Литманова. – СПб., 2006. – 165 с.
6. Ющенко, И.Б. Разработка способа электрокоагуляции белка картофельного сока : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / И.Б. Ющенко. – Минск, 1997. – 122 л.

**Кригуль Р.Е. к.т.н., доцент, Бабич М.И., к.т.н., доцент,  
Коробка С.В., к.т.н., доцент**

**Львовский национальный аграрный университет  
Дубляны, Украина**

**Шаповал С.П., д.т.н., профессор.**

**Национальный университет «Львовская политехника»  
Львов, Украина**

## **СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ СООРУЖЕНИЯ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА**

Система оптимальной вентиляции предназначена для автоматического поддержания температуры воздуха в сооружении закрытого грунта, что изображено на рисунке 1.

*Технические характеристики всей схемы*

1. Поддержание температуры в помещении в диапазоне 20–30°.

2. Автономность возобновляемого источника питания с поддержкой заряда аккумулятора в светлое время суток.

3. Возможность увеличивать количество регулируемых окон от одного регулятора температуры.

Система состоит из электрических и механических узлов обеспечивающих правильное и четкое выполнение своей работы. Сочетание механической и электрической составляющих позволяет более широко подходить к обслуживанию и использованию данной схемы.

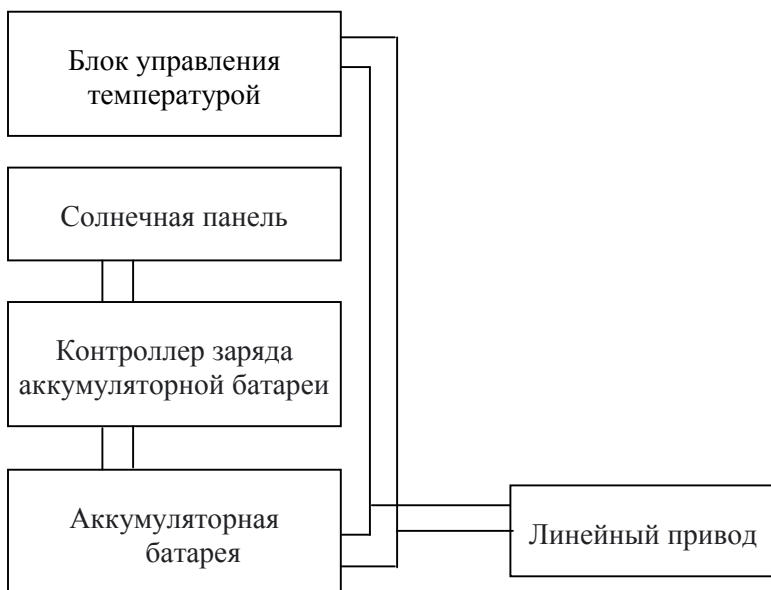


Рисунок 1 Принципиальная электрическая схема вентиляции сооружения защищенного грунта

*Состав системы:*

1. Электронный регулятор температуры РТ-0102.
2. Источник бесперебойного питания – модуль солнечной батареи KV 100Вт, аккумуляторная батарея 50А × г / 12В, контроллер заряда аккумуляторной батареи со встроенным таймером 15А / 12В
3. Релейный модуль.
4. Линейный привод в составе электродвигателя, винтового механизма перемещения и конечных выключателей.
5. Переключатель режимов работы.

Окна имеют возможность открываться и закрываться с помощью линейного привода.

Когда нам известны все элементы схемы мы можем описать принцип ее работы. После монтажа электрических соединений системы и механической регулировки хода окон проводится тестирование работы. Для этого подключаем питание и ставим переключатель режимов работы в верхнее положение. Окна должны открыться. Затем ставим переключатель в среднее положение. Окна должны закрыться.

После этого нужно выставить уставку температуры 30 градусов на регуляторе температуры РТ-0102 согласно инструкции по эксплуатации. Гистерезис температуры можно выбрать в диапазоне 5–10 градусов. Переведя переключатель режимов в нижнее положение включаем автоматический режим вентиляции. То есть окна будут открываться при достижении температуры 30 градусов. Срабатывает реле регулятора температуры и включаются реле в релейном модуле

Подается напряжение на электродвигатель линейного привода. Происходит открывание окон. При полном ходу линейного привода срабатывает конечный выключатель и прекращается подача напряжения на электродвигатель. При понижении температуры в помещении ниже 20 градусов контакты реле регулятора температуры размыкаются и окна закрываются.

Источник бесперебойного питания обеспечивает заряд аккумулятора в светлое время суток.

#### Список использованных источников

1. Шишко Г.Г. и др. Отопление и вентиляция теплиц./ Г.Г. Шишко, Л.Л. Злобин. – К.: «Будівельник», 1984. – С. 88–89.
2. Михайло Олійник. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії. – К.: Львівська політехніка 2020. – 184с.
3. Даффи Дж.Л., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. / пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 429 с.

**Крутов А.В., к.т.н., доцент, Бойко М.А., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**УДАЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ СТОЧНЫХ  
ВОД МАШИННЫХ ДВОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Образованные при мойке автотракторной техники и сельхозмашин сточные воды содержат нефтепродукты и другие минеральные загрязнения в дозах, превышающих предельно допустимые показатели. Имеющие меньшую плотность, нефтепродукты при отстаивании всплывают на поверхность. Используя различные схемы и технические средства, их собирают. Но микроскопические капли нефтепродуктов и моющих средств образуют эмульсию, которая в обычных условиях практически не разделяется с водой. Однако в процессе электрокоагуляции эмульгированные нефтепродукты (бензин, дизельное топливо, смазочное, гидравлическое масло) коагулируются в хлопья, которые легче отделить от очищаемой воды. Для этого осуществлялось воздействие электромагнитных полей на скоагулировавшиеся частицы с помощью электромагнитного циклона.

Проточный электрокоагулятор в корпусе содержит четыре электрода (два анода и два катода), расположенных на расстоянии 5мм друг от друга. В качестве электродов использовались пластины из стали 3 толщиной 2мм. На пластины подавалось постоянное напряжение 12 В, при этом ток возрастал от 0 до 6А.

Исследовались две схемы: одна – с электромагнитным циклоном (рис.1), при которой магнитные силовые линии совпадали с направлением движения обрабатываемой среды и другая (рис. 2), при которой магнитные силовые линии были направлены перпендикулярно потоку движения среды. В первом случае магнитное поле создавалось цилиндрической катушкой индуктивности, витки в которой намотаны перпендикулярно течению очищаемых стоков.





Рисунок 1 – Электромагнитный гидроциклон с продольными силовыми линиями магнитного поля (направление по движению обрабатываемой среды)

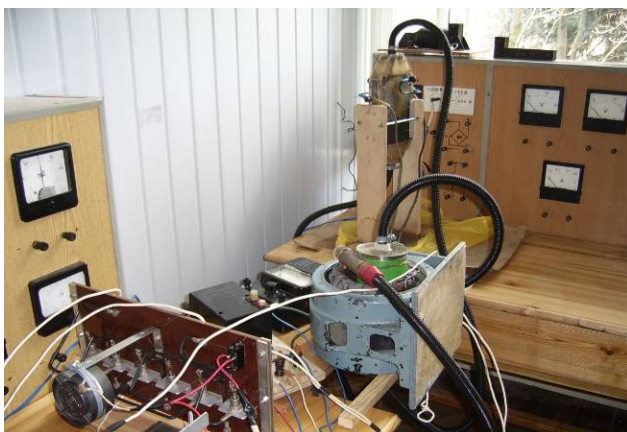


Рисунок 2 – Электромагнитный гидроциклон с силовыми линиями магнитного поля, направленными перпендикулярно потоку воды



Рисунок 3 — Опыт с постоянным магнитом

Для создания поперечного потока воды магнитного поля использовался статор трехфазного электродвигателя. В этом случае наблюдался наибольший эффект разделения воды и загрязнений. Отстоявшаяся в течение 12 часов вода стала прозрачной, характеризовалась отсутствием взвешенных частиц, нефтяных пленок на поверхности. Скоагулировавшиеся частицы осели на дно. Содержание нефтепродуктов в трех пробах очищенной воды составило, соответственно – 1,8 мг/л; 2,0 мг/л; 1,9 мг/л. Эти показатели допустимы для повторного ее использования в струйных аппаратах.

Вывод. Исследования показали, что при незначительной напряженности электрического поля (2400 В/м) происходит электрокоагуляция нефтепродуктов, так как, при электролизе в результате разложения электродов в воду переходят ионы двухвалентного железа, которые, являются хорошим коагулянт. Скоагулировавшие частицы обладают магнитными свойствами. Об этом говорит тот факт, что приставленный к одной из проб постоянный магнит весь осадок сконцентрировал вдоль стенки, у которой он находился (рис. 3).

**Крутов А.В., к.т.н., доцент, Шихарев И.А., студент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет» Минск, Республика Беларусь**  
**ВЕНТИЛЯЦИЯ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ КАМЕР  
ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ВЫРАЩИВАНИИ  
ШАМПИНЬОНОВ**

Вентиляция имеет важное значение при культивировании шампиньонов. В периоды пастеризации субстрата, вегетации мицелия, плодоношения подаваемый воздух регулирует температуру помещения и субстрата, снабжает кислородом развивающиеся в субстрате мицелий шампиньона и микроорганизмы, удаляет выделяющиеся газообразные продукты метаболизма, в основном углекислый газ. Кроме того, при увлажнении подаваемого воздуха, регулируют влажность в камерах выращивания.

При отношении объема воздуха к площади гряд менее 1,2–1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> урожай шампиньонов заметно падает и для повышения его уровня требуется дополнительная вентиляция помещения. Вентилятор должен обеспечивать подачу воздуха (по рециркуляции) в пределах 150–200 м<sup>3</sup>/ч на 1 т субстрата при однозональной системе выращивания и 90–100 м<sup>3</sup>/ч на 1 т – при многозональной системе [1]. Для распределения подаваемого воздуха по грядкам на стеллажах применяются перфорированные у воздуховоды из полиэтиленовой пленки или пластмассы, или оцинкованной листовой стали. Воздуховоды снизу оборудуются патрубками длиной 0,1 м и диаметром до 0,05 м из расчета 2–3 на 1 м длины воздуховода. Воздуховод закрепляют в верхней части камеры выращивания над проходами между стеллажами. Струи воздуха ударяются в пол и далее с меньшей скоростью омывают грядки на стеллажах, снабжают их кислородом, захватывают углекислый газ и удаляются через вытяжные проемы на рециркуляцию. В период прорастивания мицелия выделяется 60 г/ч углекислого газа из расчета на 1 т субстрата. Избыток СО<sub>2</sub> снижает продуктивность грядок и качество грибов. Допускается в период плодоношения грибов концентрация углекислого газа не более 0,08 % [2].

Схема распределения потоков воздуха в камерах выращивания через перфорированный воздуховод показана на рис. 1.

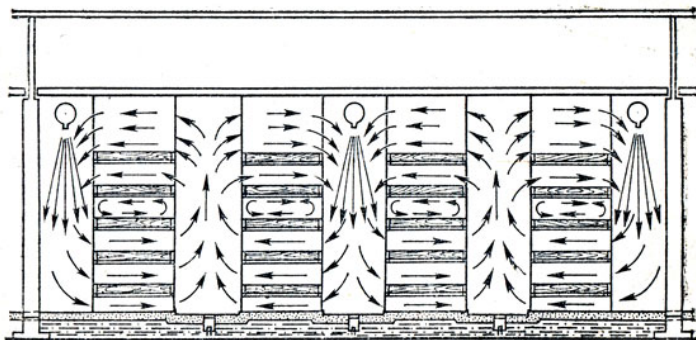


Рисунок 1 – Схема подачи воздуха в камере выращивания грибов

Управление системой кондиционирования автоматизировано. С помощью системы автоматики задают необходимые значения температуры, влажности воздуха, а также концентрацию углекислого газа.

Объем подаваемого воздуха в различные периоды выращивания грибов регулируют изменяя производительность вентилятора с помощью контроллера и частотного регулируемого привода, а также поддерживают параметры среды выращивания: температуру, влажность, концентрацию углекислого газа.

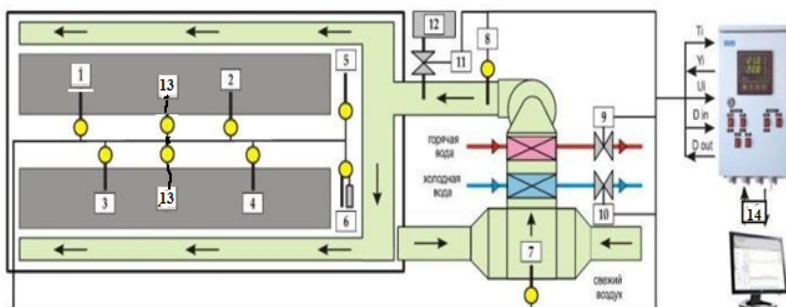


Рисунок 2 – Схема управления вентиляцией грибной фермы:

- 1–4 – датчики температуры субстрата; 5 – датчик температуры воздуха;
- 6 – датчик относительной влажности; 7, 8 – датчики температуры смешанного и подаваемого воздуха; 9 – клапан горячей воды; 10 – клапан холодной воды;
- 11 – клапан увлажнителя; 12 – увлажнитель; 13 – датчики углекислого газа;
- 14 – контроллер

Скорость движения потока воздуха над грядками (у пола) задается в зависимости от его влажности: при 70 % скорость 0,15–0,30 м/с, 80–85 % – 0,6 м/с, 90–95% – 2,4 м/с. Скорость истечения воздуха из насадок рассчитывается по формуле [3,4]:

$$v_1 = v_0 \frac{L}{Kd} = v_0 \frac{L}{6d},$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий форму насадки,  $K=6$ ;

$v_0$  – скорость воздуха у пола, м/с;

$L$  – высота от воздуховода до пола, м;

$d$  – диаметр насадки, м.

Диаметр воздуховода определяется по формуле:  $D = \sqrt{\frac{8V}{3600\pi v_1}}$ ,

где  $V$  – подача воздуха через воздуховод, м<sup>3</sup>/ч.

#### Выводы

1. Скорость движения воздуха в зоне выращивания шампиньонов должна соответствовать технологическим требованиям и она устанавливается, рассчитывая диаметр раздаточного воздуховода в зависимости от высоты камеры и скорости истечения воздуха из насадок.

2. Диаметр воздуховода должен быть таким, чтобы скорость, с которой воздух в него нагнетается, была в два раза ниже, чем истекает из насадок. Это обеспечивает практически одинаковую скорость истечения воздуха из насадок по длине воздуховода.

#### Список использованных источников

1. Девочкин, Л.А. Шампиньоны. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Агропромиздат, 1989. – 175 с: ил.

2. Крутов, А.В., Шихарев, И.А. К вопросу промышленного выращивания шампиньонов в Республике Беларусь // Агропанорама, - – 2021, №4. – С. 17–20.

3. Вентиляция грибной фермы. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://lumax.com.ua/gribnoe-proizvodstvo/> – Дата доступа : 15.11.2021.

4. Сельскохозяйственный информационный портал. Сад и огород / Грибоводство [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://selskaja-zhizn.ru/1363.htm> – Дата доступа : 15.11.2021.

**Кустова Р.И., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА**  
**И ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП**

Возрастающее использование светодиодных источников требует более глубокого понимания их сильных и слабых показателей.

Светодиодная лампа представляет собой один или несколько светодиодов, объединенных в одном корпусе.

Светодиод (СД) или светоизлучающий диод (СИД) (англ. light-emitting diode (LED) – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при протекании через него электрического тока в прямом направлении. Конструкция светодиода зависит от его назначения (сигнальный, осветительный, др.) и технологии изготовления. Например, осветительный диод, изготовленный по SMD (англ. Surface Mounted Device – прибор монтируемый на поверхности) состоит из подложки (медь, алюминий и др. материалы), выполняющей роль теплоотвода, на которой монтируют светоизлучающие кристаллы (один или несколько). Контакты кристаллов припаивают к контактным площадкам. Все это заливают люминофором соответствующего состава.

Напряжение, на которое можно включить один светодиод, в большинстве случаев 1,5...3,0 вольт, в редких случаях до четырех вольт. Допустимый ток светодиода, используемого в светильниках, 10...30 мА, а в особо мощных светодиодах доходит до 0,7...1,0 А. Большие токи ведут к перегреву, быстрой потере светоизлучения (деградации) и выходу из строя. Световая отдача составляет 80...100 лм · Вт<sup>-1</sup>. Спектр излучения зависит от полупроводниковых материалов, из которых сделан светодиод и силы тока. Алюминий, талий, индий, фосфор излучают свет в диапазоне от красного до желтого. Индий, талий, азот генерируют голубой и зеленый цвет. Если к кристаллу, испускаемому голубое (синее) свечение, добавить люминофор, то получим белый цвет, который чаще всего используют в осветительных лампах. Цветовая температура может достигать 6000...8500 °К, индекс цветопередачи более 80. Срок службы светодиодов в идеальных лабораторных условиях доходит до 100 тыс. часов.

Не следует переносить параметры характеристик светодиода на светодиодные лампы, так как лампа в большинстве случаев содержит несколько светодиодов, включенных последовательно. Например, если в лампе использовано 70 светодиодов на номинальный ток 30 мА и напряжение около 3В на каждый светодиод, то мощность лампы составит 6 Вт, напряжение 220 В, световой поток примерно 500 лм. Срок службы таких ламп в обычных электрических сетях с отклонениями напряжения  $\pm 7,5\%$  от номинального, составляет 20...30 тыс. часов.

*Достоинства* осветительных светодиодов: низкое энергопотребление (такой же световой поток при меньших энергозатратах, чем у других источников света); высокая световая отдача; длительный срок службы; отсутствие ядовитых паров.

*Недостатки* осветительных светодиодов.

Высокая цена качественных светодиодов от известных производителей. Низкие фактические характеристики у светодиодов от неизвестных производителей и при этом достаточно высокая цена по сравнению с лампами накаливания. Наблюдается эффект высокочастотного мерцания при использовании дешевых светодиодных сборок.

Для стабильной и долгой службы светодиодов необходимо применять качественные, а, следовательно, дорогие источники питания, гарантийный срок службы которых может быть ниже, чем срок службы светодиодов. В результате это значительно удорожает их обслуживание.

Применение диммеров-регуляторов для изменения освещенности возможно не для всех видов светодиодных ламп. Устройство этих регуляторов более сложно, чем устройство регуляторов для ламп накаливания. В итоге они более дорогие.

Не существует двух одинаковых светодиодов с одинаковыми характеристиками. Несколько десятков или даже сотен однотипных ламп накаливания при включении будут светить совершенно одинаково. В то время как, со светодиодными лампами все совсем не так. Все световые характеристики одинаковых светодиодов чуть-чуть различаются, соответственно различаются и собранные из них светодиодные лампы. В частности, характеристики света каждой отдельной лампы будут отличаться от остальных однотипных светодиодных ламп. Световой поток, освещенность, цветовая температура и

другие характеристики будут немного различны, даже в одной партии и одного производителя. По этой причине добиться равномерно и одинакового освещения с помощью светодиодов иногда проблематично. Скорее всего, при замене будут использоваться лампы другой партии, а может и другого производителя.

Многим людям реальный свет светодиодной лампы может быть неприятен и действует на них раздражающе, а светодиоды дают направленный свет и для получения привычной освещенности может понадобиться большее количество светильников.

В заключении следует отметить, что, несмотря на указанные выше недостатки, применение светодиодных ламп, состоящих из осветительных светодиодов, в большинстве случаев оправдано, а в некоторых случаях просто необходимо. Основное их преимущество – это низкое потребление электрической энергии.

#### Список использованных источников

1. Козловская, В.Б. Электрическое освещение. Справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – 2 изд. – Минск, Техноперспектива, 2008. – 271 с.
2. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

**Опейко О.Ф., к.т.н., доцент**

**УО «Белорусский национальный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

### **ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ БЕЗ ДАТЧИКА СКОРОСТИ**

Асинхронные электродвигатели (АД) широко применяются для приводов производственных и транспортных механизмов. В последние десятилетия для многих промышленных установок преимущество отдается частотноуправляемым АД взамен нерегулируемых электроприводов [1] с целью улучшения энергоэффективности. Наилучшим по регулировочным свойствам и динамическим характеристикам является векторное управление АД с датчиком скорости. Однако применение датчика скорости на валу привода не всегда выполнимо и снижает надежность привода, являясь источником отказов. К тому же инкрементальные датчики, от



которых получают обратную связь по скорости, являются, как правило, дорогостоящими.

Поэтому одним из вариантов векторного управления является управление без датчика скорости [1], [2], получившее развитие с 1990-х годов. В таких системах значение скорости оценивается вычислительным устройством на основании сравнения переменных АД и переменных модели электромагнитных процессов АД. Управление без датчика скорости, однако, уступает по динамическим свойствам системам с датчиками скорости. Поэтому синтез и анализ систем векторного управления без датчиков скорости остается актуальной проблемой.

Установлено, что показатели качества векторного управления без датчика скорости могут быть улучшены за счет эффективности методов синтеза, применения производительных микроконтроллеров и повышения качества преобразователя частоты.

Наряду с векторным управлением без датчика скорости во многих случаях возможно применение скалярного частотного управления, которое позволяет обеспечить регулирование скорости в значительном диапазоне за счет изменения частоты напряжения на статорной обмотке АД в разомкнутой системе без обратной связи по скорости. Однако показатели качества в этом случае могут уступать векторному управлению.

Учитывая расширяющиеся возможности микроконтроллеров управления электроприводами, а также функционирование электроприводов в составе многоуровневых систем интеллектуального управления производственными процессами, необходимо предусматривать возможности перехода от одного способа частотного управления к другому на основании результатов диагностики и тестирования системы управления электроприводом, что позволит улучшить отказоустойчивость системы, а также энергоэффективность.

#### Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Векторные системы управления электроприводами. Учеб. пособие / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев – // Мн.: Вышэйшая школа, – 2016./ – 159 с.
2. Kubota, H., Speed Sensorless Field-Oriented Control of Induction Motor with Rotor Resistance Adaptation / H. Kubota, K. Matsuse // IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 30, NO. 5, september / october – 1994. – P. 1219–1224.

**Павлович И.А.<sup>1</sup>, Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Муродов М.Х.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>Наманганский инженерно-строительный институт,  
Намаган, Узбекистан**

## **ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОЗАМЕЩАЮЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

Сопротивление заземляющего устройства зависит от влажности почвы, плотность, температуры окружающей среды, содержание в ней солей. Влияние этих факторов сильно сказывается на сопротивлении заземляющего устройства. При его проектировании необходимо учитывать эти факторы, которые влияют на количество монтируемых электродов заземления и их конфигурацию. Для того чтобы значение сопротивления заземлителя лежало в требуемых пределах, в проектах закладываются дополнительные электроды, которые компенсируют сезонные колебания сопротивления грунта.

Известным способом уменьшения влияния коэффициента сезонности, является применения смеси на основе гидрогеля и графита предложенная авторами ранее [1, 2].

Для исследований была построена ячейка согласно ГОСТ 9.602–2016 (рис. 1). Измерения происходили согласно требованиям этого нормативного документа. В качестве образцов использовались пробы обычного грунта (образец 1) и грунтозамещающей смеси (образец 2), разработанная на кафедре Практической подготовки студентов БГАТУ [2]. Испытываемые образцы были увлажнены до необходимого содержания массовой доли воды.

Особенно интересно отметить, что значения сопротивления грунтозамещающей смеси при температурах до  $-5^{\circ}\text{C}$  (рисунок 2 б), имеют стабильно более низкое значение, чем в диапазоне от 0 до  $-2^{\circ}\text{C}$ . Это может быть связано, во первых с изменением температуры замерзания смеси, до  $-5^{\circ}\text{C}$ , что косвенно подтверждается проведенными ранее исследованиями [1, 3], а так же присутствием в составе композиционной смеси дисперсного углерода, который при замерзании смеси переходит в связанное состояние, что и увеличивает проводимость смеси при отрицательных температурах.

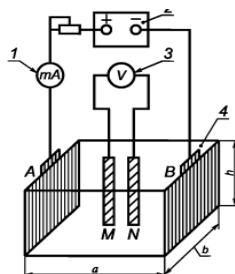


Рисунок 1 – Схема установки для определения удельного электрического сопротивления грунта и смесей в лабораторных условиях: 1 – миллиамперметр; 2 – источник тока; 3 – вольтметр; 4 – измерительная ячейка размерами  $a$ ,  $b$ ,  $h$ ;  $A$  и  $B$  – внешние электроды;  $M$  и  $N$  – внутренние электроды

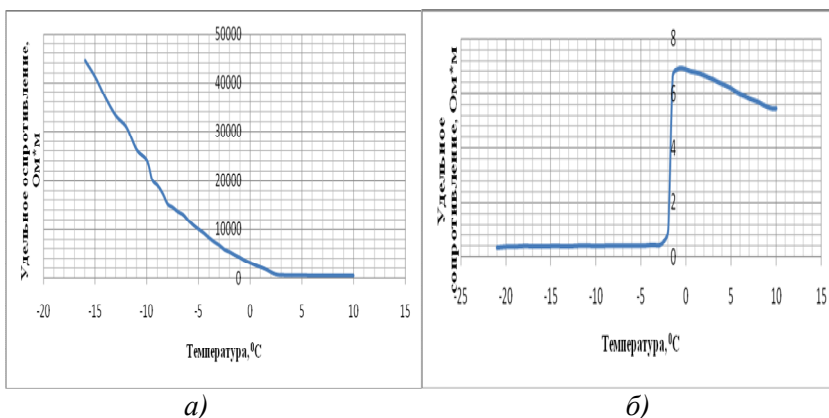


Рисунок 2 – Зависимость удельного сопротивления грунта (а) и экспериментальной смеси (б) от температуры при влажности 35 %.

При росте температуры происходит скачкообразное увеличение сопротивления, обратное тому, что мы видим для сопротивления грунта (рис. 2, а), что объясняется переходом влаги образца 2 в другое агрегатное состояние, и последующее плавное снижение сопротивления до его полной стабилизации в районе 50 Ом·м (рис. 2, б).

Полученные данные указывают на то, что происходит снижение влияния температуры на значение удельного сопротивления в околоэлектродном пространстве контура заземления.

**Вывод:** Использование композиционной смеси позволяет снизить влияние коэффициента сезонности, тем самым уменьшая затраты на проектирование и монтаж контура заземления, уменьшая

металлоемкость и объём производимых земляных работ. Композиционная смесь является неагрессивной к металлу, что позволяет использовать электроды из обычной стали, в отличие от электролитических заземлителей, выполненных из нержавеющей стали. Кроме того, вследствие того, что в смеси наблюдается обратная температурная зависимость в сравнении с грунтом, можно обеспечить отсутствие скачкообразных изменений и в области температур около 0°C.

#### Список использованных источников

1. Барайшук С.М., Павлович И.А. Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностными добавками // Агропанорама. – 2020. – №1(137). – С. 20–23.

2. Драко М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 23 (1), 80–92.

3. Барайшук С.М., Павлович И. А., Кахоцкий М. И. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта // Междуронадний научно-практический журнал «ЭПОХА НАУКИ». – 2020. – №24 (2020). – С. 87–93.

**Панасенко С.И., преподаватель  
УО «Слуцкий государственный колледж», Слуцк,  
Республика Беларусь**

### **ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Современная хлебопекарная промышленность имеет крупные высокотехнологизированные предприятия. Для комплексной механизации и автоматизации процессов разделки, расстойки теста и выпечки хлебобулочных изделий разработаны и внедряются поточные линии для хлебопекарного производства.

В зависимости от назначения они подразделяются на линии по производству: формового хлеба; круглого подового хлеба; батонных, мелкоштучных, бараночных, сухарных и рогаликовых изделий.

Поточная линия – ряд взаимосвязанных рабочих мест и машин, расположенных в порядке последовательности выполнения отдельных операций. Поточная линия объединяет производственные операции, составляющие законченную стадию, или весь основной процесс изготовления готовой продукции.

Механизация и автоматизация производственных процессов при организации поточных линий может быть частичной и комплексной. Частичной механизацией или автоматизацией охвачены только основные производственные процессы. При комплексной механизации и автоматизации все основные и вспомогательные производственные процессы механизированы или автоматизированы, включая операции по контролю, регулированию и управлению.

Процесс производства хлебобулочных изделий складывается из следующих основных этапов: прием и хранение сырья; подготовка сырья (просеивание муки, смешивание ее в определенных пропорциях и т.п.); приготовление теста опарным (сначала готовят опару – жидкое тесто для размножения дрожжей, а затем на ней замешивают основное тесто) и безопарным (все компоненты в тесто вводят сразу) способами, брожение (3–4 ч при температуре 28–32 °С); разделка теста (деление на куски, расстойка, предварительная формовка и окончательная расстойка); выпечка (при температуре 220–270°С в течение 10–60 мин); охлаждение (при температуре 18–25°С), хранение выпеченных изделий и отправка их в торговую сеть.

Каждый из этих этапов в свою очередь складывается из отдельных, последовательно выполняемых производственных операций и процессов.

В качестве примера приведена краткая характеристика этих операций и процессов на отдельных этапах производства сметанников (как на наиболее часто выпекаемой продукции) на участке для выпечки хлебобулочных изделий в УО «Слуцкий государственный колледж».

На первом этапе осуществляется прием, перемещение в складские помещения и емкости и последующее хранение всех видов основного и дополнительного сырья, поступающего на хлебопекарный участок.

Далее начинается этап приготовления теста. Приготовление теста осуществляется безопарным способом. Соответствующими дозирующими устройствами отмериваются необходимые количества муки, воды, заданной температуры, дрожжей, сахара, сливочного масла. Все ингредиенты помещаются в определённой последова-

тельности в тестомесильную машину 3F Alimacchine SM 20 и производят замес теста в течении 7–9 минут.

В замешенном тесте происходит процесс спиртового брожения, вызываемый дрожжами. Этот процесс длится 30 минут, после чего выполняется обминка теста в течении 1 минуты. После обминки тесто оставляют для дальнейшего брожения в течении 1–1,5 часа при температуре 28–32°C.

Во время брожения теста приготавливается начинка для сметанников. Для этого перемешиваются сметана, сахар и мука.

На следующем этапе – разделки теста, пекарь-тестовод делит выброженное тесто на куски массой 65 г каждый. С одного замеса получается 55 кусков (в будущем 55 сметанников). Затем каждому куску придается необходимая форма (округляется) и улаживается на противень. Противни устанавливаются в печь для окончательной расстойки. Окончательная расстойка проводится в конвекционной печи Fimor G 6411 при температуре 42°C в течении 20–22 минут. После окончательной расстойки противни извлекаются из печи, в центре каждой расстаявшейся булочки стаканом делают выемку под начинку. Каждая булочка смазывается взбитым яйцом, в выемку булочки накладывается по 1 столовой ложке начинки и противни снова отправляются в печь.

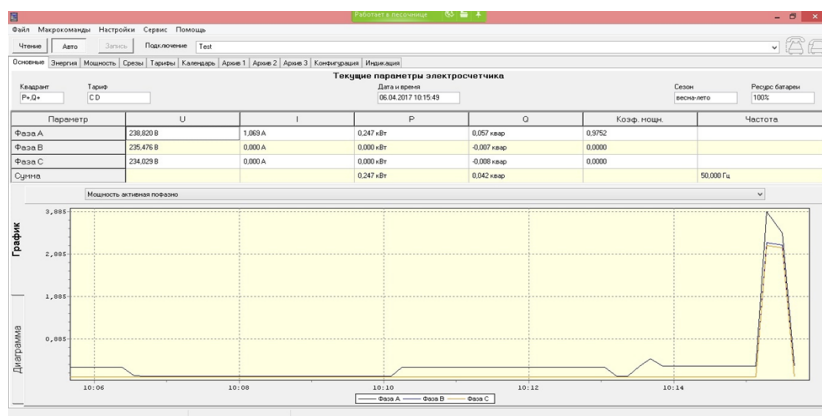


Рисунок 1 – Потребление энергии в получасовом интервале при расстойке в печи Fimor G 6411.

Выпекаются сметанники в конвекционной печи Fimor G 6411 при температуре 220 °C в течении 20 минут.

После выпечки сметанники отправляют в специальные контейнеры для охлаждения, а затем на реализацию.

Ассортимент выпускаемой продукции в пекарне довольно разнообразен: булочки, пирожки, пиццы, песочное печенье, торты и т.д. Вся изготавливаемая продукция реализуется в течении дня на территории колледжа (в столовой и выносной палатке). Основными покупателями являются сотрудники и учащиеся колледжа, население.

#### Список использованных источников

1. Хаткевич, Г.В. Организация производства на перерабатывающих предприятиях агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Г.В. Хаткевич, Н.А. Бычков, В.А. Карпов. – Минск : РИПО, 2020. – 187 с. : ил.

2. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: учебник. – 9-е изд.; перераб. и доп. / Под общ. ред. Л.И. Пучковой. – СПб: Профессия, 2005. – 416 с., ил.

**Панасенко С.И., преподаватель, Федорович В.Д., учащийся  
УО «Слуцкий государственный колледж», Слуцк,  
Республика Беларусь**  
**ЭЛЕКТРОЛИЗ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА.  
МОБИЛЬНАЯ МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ПЛАВЛЕНИЯ  
СНЕГА НА ЭЛЕКТРОЛИЗЁРЕ SMS MM**

Водород, полученный с использованием низкоуглеродных технологий, может быть эффективным средством декарбонизации тех отраслей промышленности, которые в настоящее время потребляют большое количество угля или газа в качестве источника энергии, либо такой водород может стать вариантом замены уже используемого водорода на низкоуглеродный.

Несмотря на то, что сегодня водород используется в основном в промышленном производстве, этот химический элемент имеет значительный потенциал расширения областей применения.

В сфере электроэнергетики он может использоваться в качестве углеродно-нейтрального топлива как для централизованной, так и для распределенной генерации, выступать средством накопления энергии и применяться в качестве вторичного энергоносителя, ак-

кумулирующего энергию, которая производится на объектах возобновляемой энергетики.

Водород может применяться в различных видах транспорта – автомобилях, складском транспорте, поездах, авиатранспорте, судах – как в топливных элементах, так и в двигателях внутреннего сгорания [1].

Разработки в данной области являются актуальными по следующим причинам: экологическая проблема, финансовая составляющая, рентабельность, поддержание большинством стран декарбонизации экономики, высокая прогнозируемая потребность водородного сырья в будущем. Рассматриваемая проблема в исследовании – экология. Основным объектом исследования является альтернативная энергия. Предмет исследования – водород, водородная энергетика.

Цель исследования заключается во внесении возможного решения экологической проблемы, связанной с большим выбросом вредных веществ в окружающую человека среду; изучение инновационной модульной системы плавления снега SMS MM.

Описание исследования: в ходе исследования экологической проблемы, которая заключается в выбросе вредных и опасных веществ в окружающую человека среду, было выявлено, что в основе её лежит использование природных ресурсов, содержащих химически и биологически опасные элементы, создающие необратимый эффект для природы; от упомянутых элементов в данное время отказаться не представляется возможным. Из этого мы приходим к возможному решению проблемы – водороду ( $H_2$ ) – первому элементу таблицы Д.И. Менделеева, элементу, который может стать самым первым в использовании.

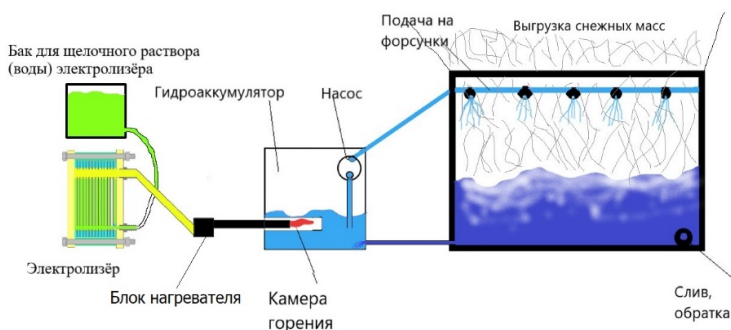


Рисунок 1 – Модульная система плавления снега на электролизёре SMS MM



Установка относится к способу переработки снега на электролизёре.

В нашем случае используется снегоплавильная установка, которая может использоваться как мобильно, так и стационарно (локально) в районе сбора снежно-ледяных масс, либо сезонно (стационарно), в месте где это востребовано; а также установлена на шасси или борт грузовика, благодаря тому, что имеет универсальное крепление.

Принцип действия установки заключается в том, что в бункер, который предварительно залит на 20 % водой, попадают снежные массы. Благодаря шнекам снежные массы равномерно размещаются по объёму и далее плавятся путём подачи нагретой воды (вода нагревается в гидроаккумуляторе в результате работы блока нагревателя, который греет гидроаккумулятор с помощью водородной горелки), идущей под давлением из форсунок, которые размещены по сторонам бункера на разной высоте и с разным углом подачи. После таяния излишнюю воду можно автоматически слить через клапан принудительного спуска (опционально оснащённого фильтром грубой очистки). Сам же нагревательный блок устроен следующим образом: имеется бак для щелочного раствора, из которого щёлочь поступает в электролизёр, где в ходе реакции вырабатывается водород, который по шлангам поступает в камеру сгорания и сгорает, расщепляясь на тепло и воду (пар). Тепло используется для нагрева циркулирующей воды, которая поступает в теплообменный блок из гидроаккумулятора (накопителя), после чего снова при помощи насоса подаётся разогретой в систему бункера через форсунки высокого давления. Цикл замыкается.

Известно, что запасы водорода практически безграничны. Так как он встречается почти всюду, его можно использовать там, где он производится. В отличие от батарей, которые не могут хранить большое количество электроэнергии в течение продолжительного времени, водород можно производить из избыточной возобновляемой энергии и хранить в больших количествах [3].

#### Список использованных источников

1. Водород: энергия «чистого» будущего  
<https://energypolicy.ru/vodorod-energiya-chistogo-budushhego/business/2021/13/15/> – Дата доступа: 02.09.2021.
2. Получение водорода <https://metallolome.ru/poluchenie-vodoroda/> – Дата доступа: 20.09.2021.
3. Перспективы и недостатки водородной энергетики  
<https://journal.tinkoff.ru/news/review-vodorod/> – Дата доступа: 05.10.2021.

**Прищепов М.А., д.т.н., профессор,  
Прищепова Е.М., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО  
ЧИСЛА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕЖДУ  
АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ВАЛЬЦАМИ  
ПЛЮЩИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

Область основной работы электропривода (ЭП) вальцовой плющилки-измельчителя фуражного зерна для кинематической схемы с индивидуальным частотно-регулируемым асинхронным электроприводом (ЧРАЭП) каждого вальца лежит в первом квадранте механической характеристики валцов при плющении и первом, третьем квадрантах при измельчении зерна. При этом длительный режим работы ЭП валцов ограничен минимальной  $\omega_{\text{ЭП, мин}}$  и максимальной  $\omega_{\text{ЭП, макс}}$  угловыми скоростями валцов при плющении и измельчении зерна и интервалом изменения момента полезной нагрузки в длительном режиме от минимального момента сопротивления  $M_{\text{с, мин}}$  вальца при плющении зерна и до максимального момента сопротивления  $M_{\text{с, макс}}$  вальца при измельчении зерна.

Кратковременный режим работы ограничен максимальной угловой скоростью ЭП  $\omega_{\text{ЭП, макс}}$  и значениями момента холостого хода  $M_{\text{хх}}$  вхолостую вращающихся валцов и максимального момента ЭП  $M_{\text{с, макс}}$  обусловленного колебаниями нагрузки в длительном режиме при плющении и измельчении зерна.

Учитывая, что ЭП вальцовой плющилки-измельчителя зерна независимо от технологического режима, плющения или измельчения, работает, как правило, в длительном режиме с переменной нагрузкой, то в приводе целесообразно использовать АД общепромышленной серии для продолжительного режима работы S1, как обеспечивающих наилучшее выполнение возлагаемых на них функций. Их паспортные или номинальные данные должны быть близки к расчетным, а конструктивное исполнение должно соответствовать способу его размещения и условиям окружающей среды. Основным элементом любого ЭП является двигатель, а его паспортные данные определяют выбор других элементов – преобразователей, коммута-

ционной аппаратуры, элементов защиты. По этой причине расчету мощности и выбору двигателя уделяется основное внимание.

Задача выбора состоит в поиске такого двигателя, который будет обеспечивать заданный технологический цикл плющилки-измельчителя, иметь конструкцию, соответствующую условиям эксплуатации и компоновки с рабочей машиной, а его нагрев при этом не должен превышать нормативный (допустимый) уровень.

Выбор двигателя недостаточной мощности может привести к нарушению заданного технологического цикла и снижению производительности РМ. Происходящие при этом его повышенный нагрев и ускоренное старение изоляции определяют преждевременный выход самого двигателя из строя, остановку плющилки-измельчителя и соответствующие экономические потери.

Недопустимым является также использование двигателей повышенной мощности, так как при этом, имея повышенную первоначальную стоимость, ЭП работает с низким КПД и коэффициентом мощности. Таким образом, обоснованный выбор ЭД во многом определяет технико-экономические показатели работы плющилки-измельчителя зерна.

Для обоснованного выбора мощности ЭД скоростные и нагрузочные диаграммы валцов должны быть приведены к валу двигателя.

При неизвестном передаточном числе  $i$  передачи между двигателями и валцами его оптимальное значение можно определить по одному из критериев [1], например, по быстродействию, минимуму габаритов двигателя, минимуму габаритов системы «двигатель-передача», минимуму потерь энергии за цикл и т.п. При выборе критерия необходимо учитывать, что запуск плющилки-измельчителя практически всегда будет производиться без нагрузки.

Определение оптимального передаточного числа ЭП валцов плющилки-измельчителя наиболее целесообразно производить из критерия наилучшего совпадения приведенного к валу двигателя эквивалентного статического момента нагрузки валцов с допустимым моментом на валу ЭД в области его длительной работы без снижения допустимого момента за счет ухудшения охлаждения и ослабления потока при номинальном токе двигателя (рисунок 1).

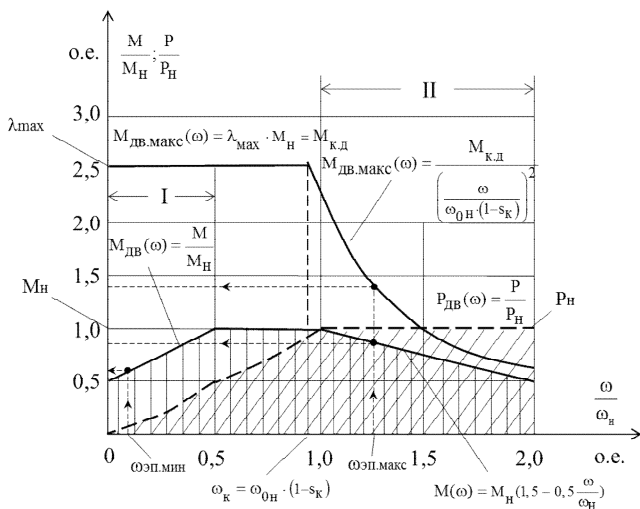


Рисунок 1 – Зависимость допустимых момента  $M_{дв}(\omega)$  и мощности  $P_{дв}(\omega)$  нагрузки на валу электродвигателя в области его длительной работы и максимального момента двигателя  $M_{дв.макс}(\omega)$  в области кратковременной работы, где I – зона снижения тока и момента нагрузки двигателя  $M$  за счет ухудшения его охлаждения; II – зона снижения момента нагрузки  $M$  за счет ослабления потока возбуждения при номинальном токе двигателя;  $\square$  – область длительной работы электродвигателя по допустимому моменту нагрузки  $M_{дв}(\omega)$ ;  $\square$  – область длительной работы электродвигателя по допустимой мощности нагрузки  $P_{дв}(\omega)$ ;  $\square$  – общая область длительной работы электродвигателя по допустимому моменту  $M_{дв}(\omega)$  и мощности  $P_{дв}(\omega)$  нагрузки.

Обоснование границ областей длительной и кратковременной работы АД производилось на основании анализа исследований, имеющихся в опубликованных работах [1, 2, 3, 4, 5, 6], а также на основании анализа полученных расчетным путем статических механических и электромеханических характеристик АД при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной по методике, приведенной в работе [7].

В регулируемом ЭП при отклонении скорости двигателя от номинальной в сторону уменьшения изменение теплоотдачи оценивается коэффициентом ухудшения теплоотдачи  $\beta_{ох}$ , равным

$$\beta_{ох} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (1)$$

где  $\beta_0$  – коэффициент ухудшения теплоотдачи для неподвижных АД (для закрытого самовентилируемого электродвигателя со степенью защиты IP44  $\beta_0=0,45-0,55$ );  $\omega$  – текущая угловая скорость электродвигателя, рад/с;  $\omega_n$  – номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с;  $x$  – показатель степени относительной скорости двигателя.

При этом для закрытого самовентилируемого АД со степенью защиты IP44 при  $\omega=0$   $\beta_{ox}=\beta_0=0,5$ , а при  $\omega=0,5\omega_n$  коэффициент ухудшения теплоотдачи  $\beta_{ox}$  можно приближенно считать равным единице, что совпадает с его принятым значением в работе [3].

При регулировании скорости АД выше номинальной верхнюю границу области кратковременной работы двигателя, т.е. максимальный момент двигателя  $M_{дв.макс}(\omega)$  по аналогии с работой [3], принимая за базовую угловую скорость номинальную угловую скорость двигателя, можно описать выражением:

$$M_{дв.макс}(\omega) = \frac{M_{к.д}}{(\omega / \omega_{0н} \cdot (1-s_k))^2}, \quad (2)$$

где  $M_{к.д}$  – относительный критический момент в двигательном режиме, о.е.;  $s_k$  – критическое скольжение двигателя, о.е.;  $\omega_{0н}$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при номинальной частоте питающего напряжения, рад/с.

Это выражение хорошо согласуется с полученными данными по расчетным механическим характеристикам согласно приведенной в работе [7] методике для двигателей серии АИР.

Квадратичную зависимость момента от соотношения скоростей можно обосновать, если учесть, что жесткость механических характеристик АД при частотном регулировании скорости на рабочем участке практически неизменна, а скольжение  $s \ll 1$ , то  $\frac{1}{1-s_k} \approx \frac{1-s}{1-s_k}$ .

Тогда выражение (2) преобразуется следующим образом:

$$M_{дв.макс}(\omega) = \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{0н} \cdot (1-s_k)}\right)^2} = \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{\omega_0(1-s)}{\omega_{0н} \cdot (1-s_k)}\right)^2} \approx \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{\omega_0}{\omega_{0н}}\right)^2} = \frac{M_{к.д}}{\left(\frac{f_1}{f_n}\right)^2} = \frac{M_{к.д}}{(\alpha)^2}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – относительная частота напряжения питания статора, о.е.;  $f_n$ ,  $f_1$  – номинальная и текущая частота напряжения питания статора,

Гц;  $\omega_0$  – синхронная угловая скорость магнитного поля статора при текущей частоте напряжения питания статора  $f_1$ , рад/с;  $s$  – скольжение ротора при угловой скорости  $\omega$ , о.е.

Обоснованность вывода приведенного выражения объясняется тем, что при частотном регулировании скорости АД жесткость механических характеристик на их рабочих участках практически не меняется и соответственно отношение  $\frac{1-s}{1-s_k} \approx 1,1 \dots 1,15 \approx \text{const}$  и незначительно отличается от единицы.

Верхнюю границу длительно допустимых моментов по условиям допустимого нагрева при двукратном превышении номинальной угловой скорости (рисунок 1) можно описать выражением

$$M_{\text{дв}}(\omega) = M_n \left( 1,5 - 0,5 \frac{\omega}{\omega_n} \right). \quad (4)$$

Зная зависимости допустимого момента нагрузки  $M_{\text{дв}}(\omega)$  на валу ЭД в области его длительной работы и максимального момента двигателя  $M_{\text{дв.макс}}(\omega)$  в области кратковременной работы в относительных единицах, в сравнении с номинальным моментом  $M_n$  и угловой скоростью  $\omega_n$  двигателя, а также зная эквивалентный статический момент нагрузки  $M_c$  и диапазон регулирования угловой скорости ( $\omega_{\text{эп.мин}} \dots \omega_{\text{эп.макс}}$ ) валцов необходимо предварительно определиться с мощностью нагрузки валцов, а затем с номинальной мощностью и угловой скоростью двигателя и передаточным числом  $i$  передачи между двигателем и валцами. При этом во всем диапазоне регулирования скорости приведенный к валу двигателя эквивалентный статический момент нагрузки валцов  $M_c/i\eta_n$  должен быть меньше или равен допустимому моменту двигателя  $M_{\text{дв}}(\omega)$ .

#### Выводы

1. Из рисунка 1 очевидно, что наилучшим образом, одновременно, по допустимому и максимальному моменту АД используются в диапазоне скоростей  $(0,5-1,0)\omega_n$ , несколько хуже по максимальному – АД в диапазоне  $(1,0-1,5)\omega_n$ . Следовательно, зная диапазон регулирования угловой скорости ( $\omega_{\text{эп.мин}}-\omega_{\text{эп.макс}}$ ) и эквивалентный статический момент нагрузки  $M_c$  валцов с учетом этого обстоятельства определяется значение передаточного числа  $i$  механической передачи между АД и валцами, обеспечивающее

работу АД в общей области его длительной работы по допустимому моменту  $M_{дв}(\omega)$  и мощности  $P_{дв}(\omega)$  нагрузки (рисунок 1).

2. Двухзонное регулирование скорости АД наиболее эффективно использовать, когда момент нагрузки  $M_c$  уменьшается на верхних скоростях заданного диапазона регулирования скорости РО.

#### Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учебное пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн. : Техноперспектива, 2004. – 527 с.
2. Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие / Г.И. Драчев. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. – Часть 1. – 209 с.
3. Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов : учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удуд, Н.В. Кояин. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.
4. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
5. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский. – М. : Энергия, 1980. – 928 с.
6. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн. : Техноперспектива, 2006. – 363 с.
7. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик АД с к.з. ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2017. – № 3 (121). – С. 26–34.

**Селюк Ю.Н.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК**

В начальный период разработки и применения сельскохозяйственного электрооборудования его ТО, как правило, не проводилось, а все восстановительные работы выполнялись

после выхода оборудования из строя (послеотказовый принцип эксплуатации). Позднее с целью совершенствования эксплуатации указанного электрооборудования была разработана в середине 80-х г. г. система ППРЭсх, которая реализовывала профилактический принцип эксплуатации. Существенным недостатком системы ППРЭсх являлось значительное количество регламентных работ, проводимых без учёта фактического состояния и режима работы электрооборудования. В результате выполнения ТО по календарному принципу приводило к избыточным затратам трудовых и материальных ресурсов, поскольку техническое состояние оборудования в некоторых случаях не требовало его обслуживания.

В процессе совершенствования указанная система была дополнена мероприятиями по диагностированию электрооборудования, в результате чего в начале 90-х г. г. возникла система ППРЭсхД.

Принятые изменения позволили несколько повысить эффективность системы планово-предупредительных ремонтов, поскольку для некоторых видов электрооборудования предусматривалось проведение текущих ремонтов в зависимости от результатов плановых диагностирований. Однако реализация системы требовала значительных затрат на приобретение диагностического оборудования, разработку методик и проведение плановых диагностирований. Кроме того, не была завершена разработка рекомендаций по диагностированию всех основных видов сельскохозяйственного электрооборудования. Вследствие изложенных обстоятельств, система ППРЭсхД применялась ограниченно и практически не повлияла на повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственного электрооборудования.

Результатом дальнейшего совершенствования эффективности обслуживания электрооборудования в АПК стала разработка в 2012 г. действующей в настоящее время системы организации использования электрооборудования машин и технологических комплексов в сельскохозяйственном производстве РБ.

Согласно указанному документу для организаций АПК рекомендуется следующая форма организации ТО оборудования:

- все виды работ по нерегламентированному ТО основного и вспомогательного оборудования подразделений выполняет эксплуатационный персонал согласно инструкции по рабочему месту;



- регламентированное (плановое) ТО (сезонное обслуживание – СО) выполняется в соответствии с перечнем типовых работ специализированными бригадами пунктов ТО или подвижной ремонтной мастерской с обязательным участием эксплуатационного и электротехнического персонала подразделения;

- технические испытания оборудования выполняются специализированными сторонними организациями по договору с обязательным участием персонала предприятия.

В действующей системе организации использования электрооборудования также реализован профилактический принцип эксплуатации (послеосмотровый лишь обозначен), который предусматривает проведение ТО и ТР после регламентированной наработки электрооборудования. Данный подход является более рациональным и перспективным, чем выполнение календарных профилактических мероприятий, так как учитывает реальный режим использования сельскохозяйственных электроустановок. Однако при этом практически не учитывается влияние условий эксплуатации и техническое состояние обслуживаемого оборудования, в результате возрастают затраты и снижается эффективность профилактических мероприятий, что требует дальнейшего совершенствования указанной системы.

Таким образом, в настоящее время имеется необходимость совершенствования системы организации ТО электрооборудования в АПК. Одним из возможных направлений указанной работы является реализация ТО и ремонта электрооборудования на основе принципов RCM (Reliability Centered Maintenance), т. е. обслуживания, направленного на обеспечение надёжности электрооборудования [1]. В определённой степени понятию RCM соответствует термин «ТО, ориентированное на обеспечение безотказности» по [2]. В данном случае обслуживание основывается на методологии определения оптимального набора операций ТО и частоты их применения с учётом вероятностей и последствий отказов [2].

Суть стратегии RCM в общем заключается в выборе оптимального типа технического обслуживания для каждого компонента электрооборудования на основании RCM-анализа. При этом выделяется критически важное оборудование, для которого

выполняется ранжирование отказов. Далее выполняется разработка эффективной тактики обслуживания для компонентов оборудования. При этом может быть реализовано профилактическое ТО по графику либо обслуживание по техническому состоянию либо отсутствие ТО. Выбор тактики производится на основании диаграммы принятия решений [1]. Таким образом реализуется риск-ориентированный подход к организации эксплуатации электрооборудования, что предполагает более широкое применение ремонта по состоянию взамен планово-предупредительного. В результате происходит более рациональное распределение необходимых материально-технических ресурсов и их концентрация на выполнении ТО критически важных элементов электрооборудования.

Реализация стратегии RCM при выполнении ТО сельскохозяйственного оборудования позволит увеличить сроки его эксплуатации и снизить затраты на обслуживание и ремонт.

#### Список использованных источников

1. Воденников, Д.А. Техническое обслуживание оборудования на основе стратегии RCM/ Д.А. Воденников// Промышленная энергетика. – 2019. – № 10. – с. 23–25.
2. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введен 2018-11-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 16 с.

**Силуцкий А.С., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**  
**ВЕНТИЛЯТОРА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ**  
**ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ, ПОДАВАЕМОГО НА**  
**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ**

Обеспечение воздухообмена в птичниках является довольно сложной проблемой с точки зрения вентиляции в птицеводческих и животноводческих помещениях, как в вопросе проектирования, так и технического исполнения. На повышение эффективности птице-

водческого производства влияет целый ряд факторов, включая температуру и расход воздуха, концентрацию влаги и углекислого газа в нем. Важнейшим фактором, обеспечивающим поддержание микроклимата в птичниках является плавное регулирование воздухообмена.

Для создания микроклимата в птичниках используются вентиляционные системы, оборудованные осевыми вентиляторами с трехфазными асинхронными двигателями (АД). Для организации непрерывного плавного удаления загрязненного воздуха из помещений птичников в зависимости от температуры воздуха в них применяется регулирование воздухопроизводительности осевых вентиляторов путем изменения частоты вращения двигателей [1].

Существует два способа плавного регулирования частоты вращения трехфазных АД с вентиляторной нагрузкой [1]:

- изменением частоты питающего напряжения двигателя преобразователем частоты тока;
- изменением величины питающего напряжения двигателя трехфазными автотрансформаторным или тиристорным регуляторами напряжения.

Основными техническими характеристиками, определяющими работу двигателей с вентиляторной нагрузкой в диапазоне регулирования его частоты вращения изменением величины синусоидального напряжения, прикладываемого к статорной обмотке двигателя, являются зависящие от величины синусоидального напряжения  $U$  следующие параметры:  $P = f(U)$ ;  $I = f(U)$ ;  $n = f(U)$ ;  $\cos \varphi = f(U)$ ;  $\eta = f(U)$ .

где  $P$  – мощность, потребляемая двигателем, кВт;  $I$  – фазный ток статорной обмотки двигателя, А;  $n$  – частота вращения двигателя, об/мин;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности двигателя;  $\eta$  – КПД двигателя.

Многочисленными исследованиями работы двигателей с вентиляторной нагрузкой при регулировании его частоты вращения путем изменения величины питающего напряжения установлено, что фазный ток статорной обмотки при частоте вращения, равной 0,67 от частоты  $n_c$  синхронной скорости, превышает номинальный фазный ток двигателя в 1,5–2 раза. Из-за этого необходимо применять двигатель с повышенным скольжением и завышать его мощность в 2–4 раза.

Для определения значений была создана установка, принципиальная электрическая схема которой приведена на (рисунке 1).

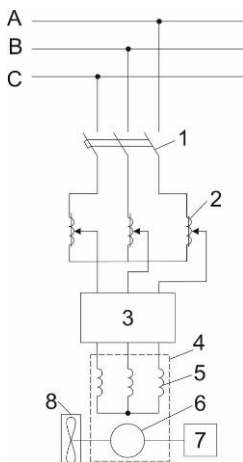


Рисунок – 1 Принципиальная электрическая схема установки для исследования влияния мощности регулируемого АД на его технические характеристики.

1 – автоматический выключатель; 2 – трехфазный автотрансформаторный регулятор; 3 – комплексный измерительный прибор; 4 - трехфазный асинхронный двигатель; 5 – статорная обмотка; 6 – ротор; 7 – тахометр; 8 – осевой вентилятор.

При помощи установки исследована работа регулируемого двигателя АИР71А4 с вентиляторной нагрузкой. Используя измеренные значения параметров  $I$ ,  $P$ ,  $n$ ,  $\cos \varphi$ ,  $\eta$  АД при изменении величины питающего синусоидального напряжения двигателя, были построены графики (рисунке 2)  $P=f(U)$ ,  $I=f(U)$ ,  $n=f(U)$ , а также графики  $\cos \varphi=f(U)$ ,  $\eta=f(U)$ .

Улучшение технических характеристик  $P=f(U)$ ,  $I=f(U)$ ,  $n=f(U)$ ,  $\cos \varphi=f(U)$ ,  $\eta=f(U)$  в диапазоне регулирования частоты вращения АД с вентиляторной нагрузкой, мощность которого в 2 раза превышает мощность вентиляторной нагрузки, достигнуто путем уменьшения его мощности до мощности вентиляторной нагрузки за счет снижения мощности трехфазной статорной обмотки двигателя вследствие увеличения ее числа витков и размещения их в тех же пазах статора, что и прежняя обмотка.

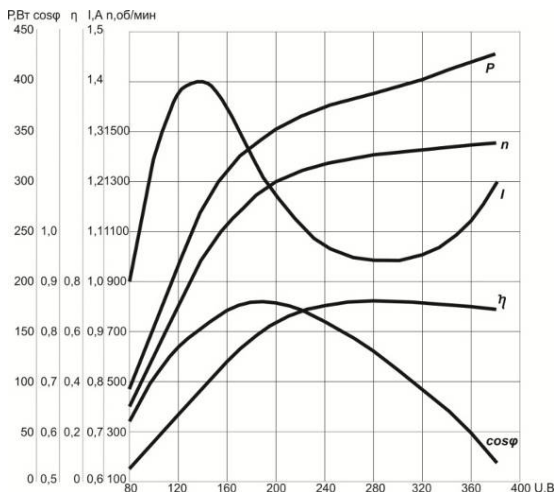


Рисунок – 2 Графики, отображающие изменения технических характеристик регулируемого двигателя АИР71А4 при вентиляторной нагрузке 0,5Р<sub>дв</sub>.

#### Список использованных источников

1. Шипалов В.И. Эксплуатационная эффективность электропривода вентиляторов в птичниках с индукционным регулятором напряжения: дис. кандидата технических наук: 05.20.02. / В.И. Шипалов. – Краснодар, 2009. – 142 с.

**Сиренко Ю.В., д-р философии, ст. преподаватель  
кафедры энергетики и электротехнических систем,  
Калнагуз А.Н., ст. преподаватель кафедры тракторов,  
с.-х. машин и транспортных технологий  
Сумский национальный аграрный университет, Сумы,  
Украина  
ЗНАЧЕНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ  
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

Качество свежееубранного зерна зависит в основном от условий созревания, состояния спелости и содержания влаги в период уборки и последующего хранения. Партии зерна после уборки урожая обладают рядом особенностей. Свежееубранная зерновая масса неоднородна по влажности и степени спелости отдельных зерен, име-

ет высокую физиологобиохимическую и микробиологическую активность, плохие технологические свойства, не стойка при хранении [1-4].

Погода в период уборки, техника уборочных работ и сроки их проведения влияют на валовые сборы зерна, его качество и состояние, в результате чего нужно проводить мероприятия, обеспечивающие сохранность зерновых масс. Так, в различных районах нашего государства зерно убирают при различной влажности. В отдельные годы отклонение по влажности в худшую сторону от средних многолетних данных весьма значительно.

Большая часть зерна после уборки проходит стадию предварительного хранения и обработки на токах. Для отдельных партий эта стадия может длиться от нескольких часов и суток до месяца и более. В таких случаях возможно заражение зерна насекомыми и клещами, а при неблагоприятной погоде – увлажнение, которое нередко сопровождается прорастанием зерна, развитием микроорганизмов и самосогреванием. Эти процессы начинаются в свежееубранном зерне очень быстро. Снижение качества зерна может произойти и при перевозках.

Поэтому правильное обращение со свежееубранным зерном с учётом свойств зерновой массы является важнейшим мероприятием.

Свежееубранное зерно (зерновой ворох) подвергают специальной обработке, особенно семенного назначения [1] – его очищают (удаляют примеси), сушат и при необходимости сортируют. Без послеуборочной обработки полученный урожай зерна нельзя ни сохранить без значительных потерь, ни использовать на пищевые или семенные цели.

Послеуборочная обработка зерна решает две основные взаимосвязанные задачи:

- повышение стойкости зерна при хранении без существенных потерь, для чего зерновую массу просушивают до сухого состояния;
- доведение зерновой массы до установленных кондиций по чистоте, для чего его очищают от сорной и зерновой примесей, сортируют с выделением малоценных зёрен основной культуры (недоразвитых, щуплых, битых, повреждённых, проросших и мелких).

Таким образом, послеуборочная обработка зерна представляет собой комплекс взаимосвязанных и дополняющих друг друга технологических операций, в результате выполнения которых обеспе-

чивается длительная сохранность зерна и повышается его качество до такого уровня, при котором оно может быть сразу или через некоторый период времени использовано на пищевые, фуражные или семенные цели. Послеуборочная обработка зерна обеспечивает высокий технологический эффект лишь тогда, когда все операции выполняются правильно и своевременно.

Среди операций послеуборочной обработки зерна наиболее ответственной и сложной является сушка, так как в основном она определяет качество обрабатываемого продукта. В настоящее время значительная часть свежееубранного зерна подвергается высокотемпературной сушке подогретым воздухом в сушильных отделениях зерноочистительно-сушильных комплексов. При этом необходим правильный выбор режимов сушки, необходимый для получения зерна требуемой кондиции по влажности при строгих ограничениях по температуре его нагрева. Решение этой проблемы затруднено тем, что сушильные отделения – это сложные объекты управления, в которых, кроме зерносушилки, функционирует значительное количество взаимодействующего между собой оборудования.

В свежееубранном зерне с повышенной влажностью преобладание процессов гидролиза приводит не к уменьшению физиологической активности, а к ее дальнейшему росту. Семена не только улучшают свои посевные качества, но могут и снизить их. Послеуборочное дозревание в таком зерне не происходит.

Поэтому в результате своевременной и правильно проведенной сушки ускоряется процесс послеуборочного созревания зерна, который в условиях обычного хранения длится в течение нескольких недель, а то и месяцев, повышается его стойкость при хранении, улучшаются технологические и семенные достоинства.

Кроме того, для хранения сухого зерна требуются зернохранилища вместимостью примерно в 7...10 раз меньше, чем для временного хранения влажного зерна. Во-первых, потому, что сухое зерно занимает меньший объем, а во-вторых, влажное зерно можно временно хранить в насыпи толщиной только до 2 м, в то время как сухое зерно – в насыпи высотой 40 м и более. Причем при временном хранении влажного зерна зернохранилище необходимо оборудовать установками активного вентилирования, строить склады, занимающие большую территорию [2].

Велико значение сушки и в зерноперерабатывающих отраслях промышленности. Переработка просушенного зерна позволяет снизить энергоемкость вальцовых станков, повышать выход муки и круп, увеличивать длительность хранения муки и круп, снизить износ оборудования.

Таким образом, важность качественной сушки зерна и сложность ее обеспечения, а также возрастающие объемы обрабатываемого материала делают актуальной проблему интенсификации процесса сушки в комплексе мероприятий в период послеуборочной обработки зерна.

#### Список использованных источников

1. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції / А.Я. Маньківський, Л.Ф. Скалецька, Г.І. Подпретов, А.М. Сеньків. – Ніжин: ВКП “Аспект”, 1999. – 384 с.
2. Жемела Г.П. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: Підручник / Г.П. Жемела, В.І. Шеманьов, О.М. Олексик. – Полтава, 2003. – 420 с.
3. Карпов Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.: ил.
4. Хранение зерна и зерновых продуктов /Пер. с англ. В.И. Дашевского, Г.А. Закладного; Предисл. Л.А. Трисвятского. – М.: Колос, 1978. – 472 с.: ил.

**Сиренко Ю.В., доктор философии, ст. преподаватель  
кафедры энергетики и электротехнических систем,  
Калнагуз А.Н., ст. преподаватель кафедры тракторов,  
с.-х. машин и транспортных технологий  
Сумский национальный аграрный университет, Сумы,  
Украина  
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СУШИЛЬНЫХ  
УСТАНОВОК**

За последние годы все большее распространение получают так называемые процессы в кипящем слое, когда мелкозернистые частицы находятся в восходящем потоке газа как бы в кипящем состоянии. Где происходит быстрое выравнивание температур частиц



высушиваемого материала и сушильного агента и достигается тепло- и массообмен между твердой и газовой фазами, в результате этого сушка заканчивается в течение нескольких минут. При этом способе в качестве сушильных агентов применяют топочные газы и воздух, сушку проводят в аппаратах непрерывного (одноступенчатые и многоступенчатые сушилки) и периодического действия. Сушка в кипящем слое пригодна для обработки зернистых, не слипающихся и мелкозернистых материалов.

Видом сушилок с кипящим слоем являются аэрофонтанные сушилки. Влажный материал поступает из загрузочного бункера, подхватывается смесью воздуха с топочными газами и поступает в камеру, где материал интенсивно циркулирует до тех пор, пока высохшие частицы, как более легкие, уносятся газами в циклон, в котором газы отделяются от высушенного материала.

Преимущества с кипящим слоем: интенсивная сушка; возможность сушки при высоких температурах, превышающие допустимые для данного материала, вследствие кратковременности его соприкосновения с сушильным агентом; высокая степень использования тепла сушильного агента; возможность совмещения с перемещением зернового слоя, возможность автоматического регулирования параметров процесса [1]. Недостатки таких сушилок: непригодность для сушки материалов, трудно поддающихся псевдоожижению; высокое гидравлическое сопротивление.

Характерной особенностью – теплообмен между агентом сушки и зерном протекает очень интенсивно в сравнительно тонком “придонном” слое, в так называемой активной зоне. Температура агента сушки снижается настолько быстро, что уже на высоте 50...80 мм от воздухораспределительной решетки она становится равной температуре зерна. Сообщаемая зерну теплота переносится затем из активной зоны теплообмена на всю толщину псевдоожиженного слоя.

Зерновой слой приведен в псевдоожиженное состояние путем воздействия на него вибрационных колебаний или совместным воздействием воздушного потока и вибрации. Такое состояние слоя называют виброкипящим. Такая сушка является одним из прогрессивных способов сушки. Этот способ может применяться в комбинации с аэродинамическим воздействием. Закономерности сушки слоя аналогичны закономерностям сушки единичных зерен: скорость испарения влаги постоянна, а температура зерна резко возрастает на

всем протяжении процесса. Зерно нагревается до предельной температуры лишь за 1...3 мин, а снижение его влажности за это время не превышает 3...4 %. Дальнейшая сушка приводит к перегреву зерна и ухудшению его качества.

Элементарный слой - это слой толщиной в одно зерно. Характеризуется постоянством скорости сушки. При сравнительно низких температурах агента сушки (30...70 °C), применяемых для семенного зерна, а также для сушки в неподвижном слое, процесс протекает значительно медленнее. Вслед за прогревом зерна наступает период убывающей скорости сушки.

Сушка зерна в падающем слое. Осуществляется во время гравитационного, искусственно замедленного с помощью специальных тормозных элементов движения зерна в противотоке агента сушки, температура которого может находиться в пределах 200...370 °C. В процессе тепло- и влагообмена с агентом сушки участвует вся поверхность зерен, поэтому обеспечивается равномерный нагрев и сушка отдельных зерен. Применяется в специальных устройствах для быстрого нагрева зерна перед последующей сушкой его в плотном малоподвижном слое либо плотном подвижном слое. Длительность пребывания зерна в рабочей зоне этих устройств 2...3 с, при этом влажность зерна может понизиться на 0,5...1,0 %, а его температура – повыситься на 15...20 °C.

По режиму работы можно разделить на три группы [2-3]: непрерывные, периодические, полунепрерывного действия.

Непрерывно действующие сушильные установки получили наибольшее распространение. В этих аппаратах загрузка и выгрузка материала происходит непрерывно, влажность материала и параметры теплоносителя имеют постоянные значения, т.е. процесс идет при установившемся режиме. Преимуществом является полное использование объема сушильной камеры, возможность полной автоматизации процесса, отсутствие расхода тепла на прогрев установки. Их недостатком (некоторых конструкций) является неравномерная обработка материала.

Периодически действующие сушильные установки применяют для получения однородного по влажности продукта. Сушильную камеру загружают материалом и по окончании процесса полностью разгружают. Влажность материала в сушилке, а также параметры сушильного агента меняются во времени. Достоинством их является

простота конструкции и возможность регулирования режима сушки путем подачи теплоносителя с различными параметрами на разных этапах сушки в соответствии с требованиями оптимального режима; поэтому их успешно применяют для сушки чувствительных к нагреву материалов. Недостатками этих сушилок являются большая затрата времени на загрузку и выгрузку материала, необходимость дополнительного расхода тепла на прогрев установки при каждой новой операции.

Сушильные установки полунепрерывного действия позволяют получить равномерный по влажности продукт. Загрузка и выгрузка материала в этих аппаратах производится непрерывно, но процесс сушки осуществляется периодически, и таким образом используются преимущества непрерывных и периодически действующих сушилок. Установки могут быть полностью автоматизированы.

#### Список использованных источников

1. Лева Макс. Псевдооживление. – М.: Гостолтехиздат, 1961. – 400 с.
2. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка в кипящем слое. Теория, конструкция, расчет. – Л.-М.: Химия: Ленингр. отделение, 1964. – 288 с.: ил.
3. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е, перер. – М.: Энергия, 1972. – 320 с.

**Скочек И.И., ст. преподаватель, Плешенков В.Д., студент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ГЕНЕРАТОРА ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОТОЧНОГО  
ВЛАГОМЕРА**

Основным узлом диэлькометрических измерителей влажности является первичный измерительный преобразователь. Он состоит из емкостной ячейки, включенной в цепь двухточечного высокочастотного LC-генератора, схема которого представлена на рис. 1.

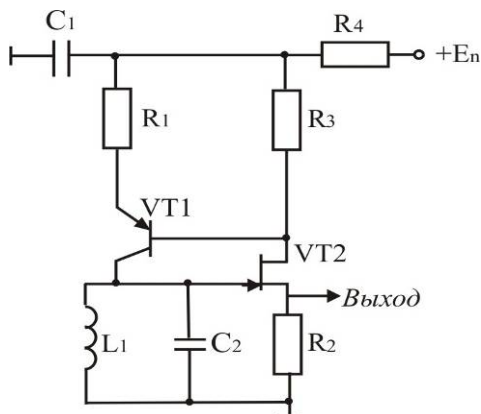


Рисунок 1 – Схема высокочастотного генератора

Выходная частота генератора близка по форме к синусоидальной, что свидетельствует о незначительном влиянии высших гармоник. По данным исследований кратковременная стабильность частоты генератора близка к стабильности частоты кварцевого генератора, т.е. уход рабочей частоты за 1 с не превышает 1...3 Гц на рабочей частоте 10 МГц. Долговременная же стабильность частоты гораздо хуже, и в основном определяется стабильностью резонансной частоты колебательного контура и напряжения питания [1]. Данный генератор неплохо себя зарекомендовал в полевых влагомерах, где перед измерением проводится тарировка. Для поточного влагомера важна долговременная стабильность рабочей частоты. Анализ схемы генератора показал, что при стабильном напряжении питания наибольшее влияние на частоту генератора оказывает биполярный транзистор  $VT1$ . По справочным данным у транзистора КТ326Б при токе коллектора  $I_K=1$  мА увеличение температуры на 100 °С приводит к уменьшению падения напряжения  $\Delta U_{КЭ}$  на 0,2 В. Это существенно влияет на долговременную стабильность частоты генератора. Для компенсации изменения падения напряжения  $\Delta U_{КЭ}$  резистор  $R1$  номиналом 2,2 кОм заменим составным 2 кОм и терморезистором с положительным ТКС СТ6-1А номиналом 220 Ом. Температурные свойства полевого транзистора  $VT2$  намного лучше, чем у биполярного. Температурной стабилизации можно добиться подбором сопротивления  $R1$ .

Для исследования температурных характеристик генератора использовался частотомер ЧЗ-49, измеритель-регулятор температуры МТ-2, холодильник и термощаф. При снятии температурной характеристики генератор выдерживался в каждой точке 10 минут. В результате получены следующие зависимости (рис. 2).

Из графика видно, что после термостабилизации генератор стал менее чувствителен к изменению температуры. Доработанную схему генератора можно рекомендовать для применения в диэлькометрических влагомерах.

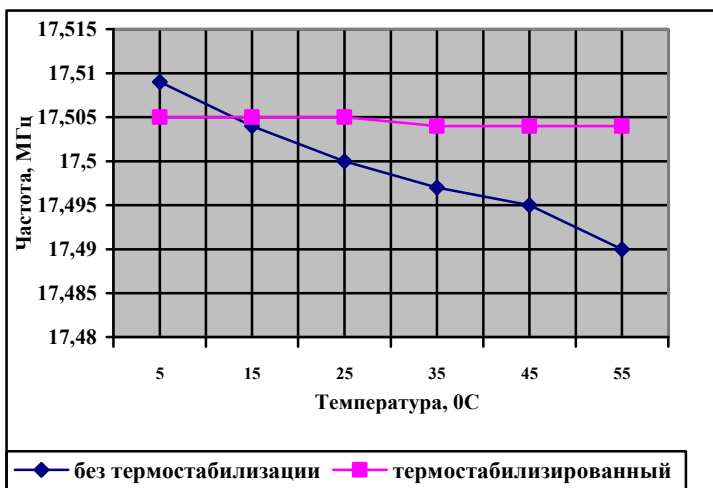


Рисунок 2 – Результаты исследований зависимости частоты генератора от температуры

#### Список использованных источников

1. Петин, Г. Высокостабильный двухточечный генератор. – «Радиолюбитель», № 7, 1997. – С. 7.
2. Терморезисторы. Справочная таблица [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electrosad.ru/Electronics/termSpr.htm> – Дата доступа: 20.11.2021.
3. Полевые транзисторы: принцип действия, схемы, режимы работы и моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/praktika/1388-polevye-tranzistory.html> – Дата доступа: 20.11.2021.

**Шубкин С.Ю., к.т.н., доцент**  
**ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет**  
**им. И.А. Бунина», Елец, Россия**  
**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА**  
**ДЛЯ ТЕРМОКОПТИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ**  
**ПИЩЕВЫХ СРЕД В ПЕРЕСЫПАЮЩЕМСЯ СЛОЕ**

С каждым годом копченая продукция неизбежно становится все более привлекательной для потребления [2]. В связи с этим необходимо постоянное совершенствование и расширение ассортимента товаров данного сектора пищевого производства. В последнее время особую популярность приобрели копченые дисперсные продукты, к которым следует отнести мелко нарезанные рыбные закуски (снеки). При этом лидирующие позиции в рейтингах наиболее потребляемых таких товаров занимает рыбная соломка [1].

Существующие тенденции развития технологии копчения связаны с созданием нового коптильного оборудования. Одним из таких направлений является использование электростатического поля, позволяющее существенно интенсифицировать осаждение компонентов дыма на поверхность продукта в процессе копчения [2]. Время протекания процесса копчения с применением электростатического поля сокращается в несколько десятков раз, что существенно позволяет снизить удельные энергозатраты.

Рыбная соломка в силу своих реологических свойств, таких как сыпучесть, объемная плотность, является крайне неудобным продуктом для проведения процесса электростатического копчения. Традиционно рыбную соломку подвергают процессу копчения насыпью на сеточных стеллажах [3]. Протекание процесса в таких условиях характеризуется резким возрастанием гидравлического сопротивления слоя продукта, вследствие чего нарушается равномерность распределения коптильной смеси и снижается эффективность насыщения продукта ароматическими компонентами дыма.

Указанные факторы можно устранить путем применения режима постоянного перемешивания в комбинации с наложением электростатического поля.

На рис. 1-2 представлена конструкция установки, которая позволяет производить процесс термокопильной обработки дисперсных пищевых сред в пересыпающемся слое с наложением электростатического поля.

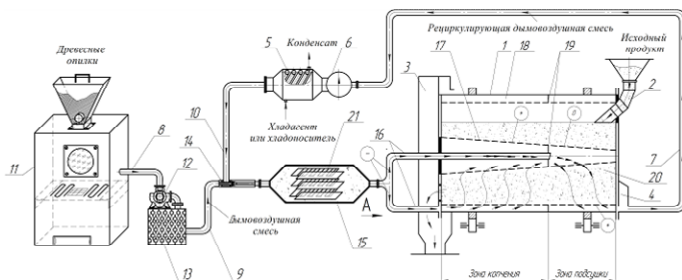


Рисунок 1. Принципиальная схема электростатической установки для термокопильной обработки дисперсных пищевых сред в пересыпающемся слое

Электростатическая установка для термокопильной обработки дисперсных пищевых сред в пересыпающемся слое состоит из копильной камеры барабанного типа 1, установленной с возможностью вращения; неподвижного устройства загрузки дисперсного материала 2; неподвижной разгрузочной камеры 3; устройства для отвода отработанной дымовоздушной смеси 4; конденсатора 5; рециркулирующего насоса 6; трубопроводов 7, 8, 9, 10; системы подачи дымовоздушной смеси, включающей в себя дымогенератор 11, ротационный насос 12, фильтр 13, камеру смешивания 14, камеру ионизации 15, коллектор 16.

Отличительной особенностью данной установки является то, что внутри копильной камеры 1 установлена коническая перфорированная труба 17, которая позволяет образовать каналы 18 переменной сечености для подвода и отвода дымовоздушной смеси, снабженные сплошной поперечной перегородкой 19, разделяющей копильную камеру на две зоны: зону копчения и зону подсушки дисперсного продукта 20, а система подачи дымовоздушной смеси осуществляется при помощи коллектора 16, входной патрубков которого примыкает к дополнительно установленной камере ионизации 15 с коронирующими электродами 21. Подробное описание конструкции разработанной установки, а также принципа ее работы изложено в [3].

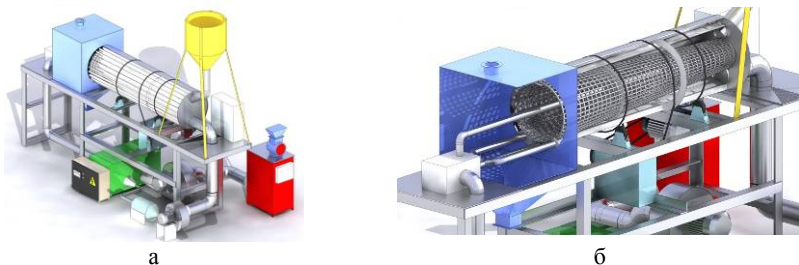


Рисунок 2. Внешний (а) и внутренний (б) вид электростатической установки для термокопильной обработки дисперсных пищевых сред в пересыпающемся слое

Предлагаемая электростатическая установка для термокопильной обработки дисперсных пищевых сред в пересыпающемся слое позволяет:

- интенсифицировать процесс копчения за счет осаждения копильных компонентов на продукт в электростатическом поле;
- обеспечить равномерное распределение копильных веществ по всему слою продукта за счет увеличения полезного объема камеры и применения эффекта режима постоянного перемешивания;
- существенно сократить продолжительность процесса, а следовательно уменьшить затраты на электроэнергию и снизить себестоимость готовой продукции.

#### Список использованных источников

1. Зотова Л.В. Инновационные технологические решения в производстве снековой продукции // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2017. – № 5. – С. 224–233.
2. Мезенова О.Я. Инновации в копчении пищевых продуктов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 31–46.
3. Шубкин С.Ю. Совершенствование процесса электростатического копчения рыбопродуктов в аппарате с вращающимся барабаном / С.Ю. Шубкин, С.В. Шахов, И.Н. Сухарев // Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина. – 2019. – 159 с.



Янко М.В.

УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ АКТИВАЦИИ  
ПРОДУКТИВНОСТИ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ**

В Республике Беларусь производят около 30 тыс. тонн хлебопекарных дрожжей. В процессе ферментации контролируют химический состав, температуру, кислотность, концентрацию растворенного кислорода и окислительно-восстановительный потенциал питательной среды, для получения дрожжей с хорошими физико-биологическими показателями, к примеру подъемной силой не более 35 мин., и высокой продуктивностью, не ниже 350 % и [1].

Увеличить продуктивность хлебопекарных дрожжей можно тепло-химическими, механическими, электрофизическими и другими способами. Электрофизические способы можно разделить на электрические, магнитные, электромагнитные и другие.

Электрические способы основаны на воздействии электрическим полем постоянного или переменного тока на питательную среду с дрожжами либо без неё. Благодаря воздействию нелинейно-искаженным сигналом частотой 50 Гц, при напряженности 90 В/м и интенсивности  $9 \cdot 10^8$  Дж/м<sup>3</sup>, на среду с дрожжами продуктивность можно увеличить на 11,6 % до значений 390 % [2]. Электрообработка среды с дрожжами в мембранном электролизере при плотности тока 31 А/м<sup>2</sup> позволяет увеличить продуктивность и подъемную силу хлебопекарных дрожжей на 2...5 %, или 368 % и 33 мин. соответственно [3]. Недостаток способа заключается в загрязнении питательной среды ионами металлов электродов.

Магнитные способы обработки дрожжей исследовали в Японии, США и России. Эти способы основаны на воздействии магнитным полем различной индуктивности. Обработка дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в постоянном магнитном поле с индукцией 18 Тл увеличивает почкование клеток на 10 %, что соответствует продуктивности 385 %. Влияния этих способов на подъемную силу в литературных источниках не обнаружено.

Электромагнитные способы основаны на воздействии электромагнитным полем различной частоты на дрожжи и питательную среду с дрожжами. Наиболее распространены способы

применения электромагнитных полей низкой и сверхвысокой частоты. В Узбекском национальном университете установили, что обработка дрожжей полем частотой 4 Гц с магнитной индукцией  $0,8 \pm 0,2$  мкТл позволяет увеличить продуктивность на 18 % (до 413 %), а бродильную активность на 10 %. Обработка хлебопекарных дрожжей электромагнитным полем частотой 900...905 МГц и интенсивностью 0,12 Вт/кг позволяет количество клеток на 14%, что соответствует 400 %, и подъёмную силу на 12 %, до значений 31мин.

Также известен способ совместного использования химического и электромагнитного способов. В Калининградском государственном технологическом университете изучено влияние комплексона оксиэтилендифосфоновой кислоты и электромагнитного поля. Установлено, что при частоте микроволнового диапазона 54,17 ГГц и концентрации комплексона 0,1 г/л питательной среды продуктивность хлебопекарных дрожжей увеличивается на 3...5 %, подъёмная сила составляет 24,5 мин., мальтазная активность достигает 100 минут.

Обобщенные показатели электрофизических способов активации продуктивности хлебопекарных дрожжей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики электрофизических способов активации продуктивности дрожжей

| Способы активации          | Параметры         |                      |
|----------------------------|-------------------|----------------------|
|                            | Продуктивность, % | Подъёмная сила, мин. |
| 1. Электрические           | 390               | 33                   |
| 2. Магнитные               | 385               | —                    |
| 3. Электромагнитные:       |                   |                      |
| низкочастотные             | 413               | —                    |
| сверхвысокочастотные       | 400               | 31                   |
| 4. Химико-электромагнитные | 368               | 24,5                 |

Анализ способов показывает, что не все из них в полной мере применимы в условиях дрожжерастительного производства, в частности электрические загрязняют питательную среду ионами металлов, некоторые способы требуют разработки источников питания с недопустимыми к применению частотами. Эти проблемы можно решить применением аэроионной активации продуктивности хле-

бопекарных дрожжей. Это обработка питательной среды с хлебопекарными дрожжами аэроионами и электрическим полем коронного разряда.

Предварительные исследования, выполненные при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № T21M-101) подтверждают увеличение продуктивности дрожжей на 13...20% до 420 % и подъёмной силы на 5...15% до 30 мин.

#### Список использованных источников

1. Меледина, Т.В. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Морфология, химический состав, метаболизм: Учеб. пособие. / Т.В. Меледина, С.Г. Давыденко. – Санкт-Петербург : Университет ИТ-МО, 2015. – 88 с.

2. Влияние слабых электрических полей на жизнедеятельность *Saccharomyces cerevisiae* / Сивова Е.В. [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2014. – №. 24. – С. 46–48.

3. Мирошников, А.И. Стимуляция и ингибирование роста клеток при культивировании в питательной среде, модифицированной электрическим полем / А.И. Мирошников. // Вестник биотехнологии. – 2007. – Т.3, № 2 – С. 18–25.

## СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

**Воронович А.А., Матвеев И.П., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ДАТЧИКОВ УРОВНЯ**

Программы схемотехнического моделирования электронных схем, такие как Electronic WorkBench, MathLab, Proteus, позволяют спроектировать и виртуально исследовать разработанные устройства.

В данной работе для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus, с помощью которой была спроектирована схема детектора уровня жидкости.

Детекторы (датчики) уровня в зависимости от вариантов исполнения, принципов измерения и конструктивных возможностей позволяют осуществлять контроль уровня жидкостей: воды, нефти, топлива, масел, жидких пищевые продуктов; одновременный контроль текущего уровня заполнения емкости; индикацию наличия/отсутствия жидкости; отслеживание уровня сред в нескольких емкостях одним прибором контроля.

Датчики уровня предназначены для использования в различных технологических установках, системах автоматического контроля и управления, находящихся на объектах сельского хозяйства.

Схема детектора уровня жидкости [1] предназначена для тревожной сигнализации об уровне воды, но при использовании щупов различной формы она может работать в качестве сигнализатора осадков или короткого замыкания в цепи, так как наличие между щупами любого сопротивления в диапазоне от нуля до более 1 МОм вызовет её срабатывание (рис.1). То есть откроется транзистор  $Q1$  (выбран тип транзистора 2N2222), через него потечет ток, который, в свою очередь откроет транзистор  $Q2$  (тот же тип транзистора, что и  $Q1$ ).

Сопротивление между щупами моделировалось с помощью ключа (SW1).

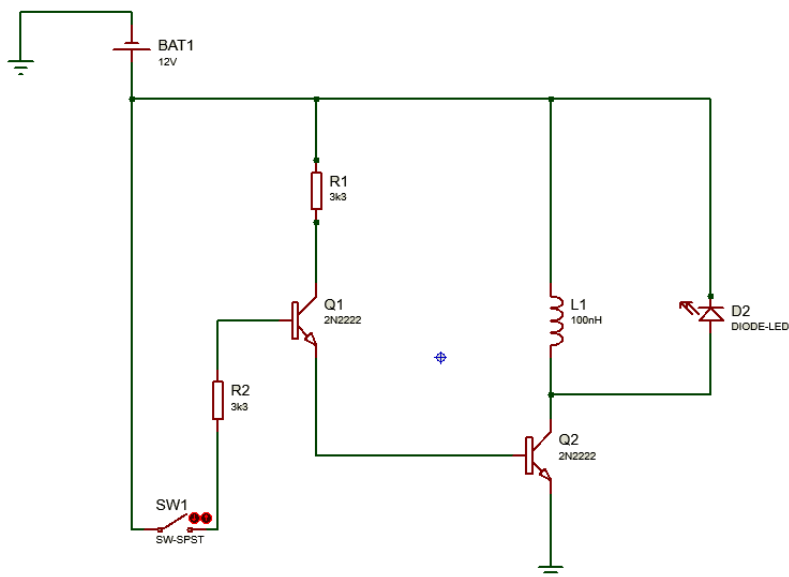


Рисунок 1 - Смоделированная схема датчика уровня жидкости

Когда уровень жидкости достигнет обоих щупов, включается тревожная сигнализация. В нашем случае загорается светодиод *D2*. Возможно подключение звукового сигнала. При понижении уровня воды она выключается. Напряжение питания источника *Bat1* (изменяется от +3 до +12 В) зависит от напряжения срабатывания реле.

Можно наблюдать свечение светодиода непосредственно на виртуальной схеме, если выбрать из базы элементов Proteus его анимационную версию [2].

Таким образом, в результате исследования схемы датчика уровня были подобраны оптимальные параметры элементов устройства для обеспечения его работоспособности.

#### Список использованных источников

1. Граф Р., Шиитс В. Энциклопедия электронных схем // М.: ДМК-пресс – 2010 – с.305.
2. Электронный песчупс: [http://elschemo.ru/dlya-nachinayushhix / osnovy-raboty-v-proteus-7-chast1/](http://elschemo.ru/dlya-nachinayushhix/osnovy-raboty-v-proteus-7-chast1/)

**Гируцкий И.И., д.т.н., доцент; Немирович С.И., м.т.н., ассистент**

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

Живая масса КРС является одним из важнейших показателей для оценки мясной и молочной продуктивности. Так же является важным показателем в селекционной работе: осеменение телок осуществляется при достижении 1,5 года и массой более 350 кг. Ранняя стельность телок приводит к рождению слабого теленка, низким удоям и задержке развития[1]. Поскольку не во всех фермах есть возможность измерять вес крупного рогатого скота, был проведен опыт для определения живой массы с помощью оптико-электронного метода.



Рисунок 1 – измеряемые параметры на фотографии коровы

Методика проведения опыта заключалась в измерении длины коровы, косую длину коровы, обхват груди за лопатками и глубину туловища коровы за лопатками рисунок 1. Способы измерения брались из книг по скотоводству[2, 3]. Дальше делался снимок профиля коровы на камеру, и замеряли расстояние от камеры до коровы. Необходимо, чтобы корова размещалась полностью на изображении и

не перекрывалась другими объектами или коровами. В дальнейшем корову вели на весы для измерения живой массы.

Порода коровы черно-пестрая, взята из-за самого широкого распространения на территории Беларуси. С помощью параметров камеры и разрешения снимка находилась зависимость изменения размера пикселя в сантиметрах от расстояния. По этой зависимости рассчитывались габаритные размеры: длина коровы, косая длина коровы и боковая высота на изображении коровы, полученной с камеры. Обхват груди за лопатками в двумерном изображении получить невозможно, поэтому её нет в корреляционной зависимости. По полученным данным строилась корреляционная зависимость, предоставленная в таблице 1.

Таблица 1 – Корреляционная зависимость габаритных размеров от массы коровы.

|                          | Длина коровы | Косая длина коровы | Боковая высота (лопатки) | Масса (весы) |
|--------------------------|--------------|--------------------|--------------------------|--------------|
| Длина коровы             | 1            |                    |                          |              |
| Косая длина коровы       | 0,97         | 1                  |                          |              |
| Боковая высота (лопатки) | 0,30         | 0,32               | 1                        |              |
| Масса (весы)             | 0,81         | 0,87               | 0,51                     | 1            |

Исходя из коэффициентов, связь между показателями длины, косой длины с массой коровы сильная, а боковая высота с массой имеет среднюю связь. Все коэффициенты значимы.

Следующим действием было построено линейное уравнение регрессии, в котором множественный коэффициент корреляции составил 0,92. Связь между массой и геометрическими параметрами высокая. Множественный коэффициент детерминации, равный 0,84, говорит об удовлетворительной аппроксимации и на 84 % масса зависит от геометрических параметров коровы.

Полученное уравнение регрессии по данным, полученным с эксперимента, принимает следующий вид:

$$M = -698,38 - 5,33 \cdot X_1 + 12,63 \cdot X_2 + 2,62 \cdot X_3, \quad (1)$$

где M – масса;

$X_1$  – длина коровы;

$X_2$  – косая длина коровы;

$X_3$  – высота коровы.

Для визуализации данных, полученных с помощью уравнения регрессии, сравним их с измерениями, полученными на весах.

Таблица 2 – Сравнение полученных результатов

| Наблюдение    | Масса с уравнения регрессии | Масса с весов | Разница |
|---------------|-----------------------------|---------------|---------|
| 1             | 551                         | 568           | -17     |
| 2             | 593                         | 613           | -20     |
| 3             | 600                         | 622           | -22     |
| 4             | 640                         | 602           | 38      |
| 5             | 606                         | 614           | -8      |
| 6             | 582                         | 581           | 1       |
| 7             | 629                         | 636           | -7      |
| 8             | 623                         | 629           | -6      |
| 9             | 584                         | 559           | 25      |
| 10            | 481                         | 467           | 14      |
| Суммарный вес | 5889                        | 5891          | 2       |

Использование данного метода измерения облегчает труд по определению массы животного, но еще требует доработки и дополнительных исследований в повышении точности измерения. Но можно применять для группового взвешивания стада в целом. Так как данные полученные с помощью оптико-электронного метода практически сошлись с данными полученными на весах.

#### Список использованных источников

1. Гаврилов А.С., Полная энциклопедия фермера./ А.С. Гаврилов. – Москва : РИПОЛ классик, 2013. – 69 с.
2. Шляхтунов, В.И. Скотоводство и технология производства молока и говядины / В.И. Шляхтунов. – Минск : «Беларусь», 2005. – 384 с.
3. Савельев, В.И. Скотоводство Часть 1:курс лекций / В.И. Савельев.– Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. – 372 с.



**Жур А.А, ст. преподаватель, Гриб А.Ф., к.ф.-м.н., зав. лаб.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ, НАДЕЖНОСТИ  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Под надежностью систем автоматизации понимают свойство системы, обусловленное ее долговечностью, ремонтпригодностью, безотказностью и обеспечивающее нормальное выполнение заданных функций системы в определенных условиях эксплуатации и времени.

Для обеспечения надежного функционирования систем автоматизации, крайне важно, чтобы требуемый уровень надежности был предусмотрен еще в период ее проектирования и обеспечен при наладке и монтаже. Правильно организованная эксплуатация, своевременное проведение гарантийно-профилактических мероприятий по обслуживанию и ремонту отдельных элементов позволяет поддерживать работу системы на заданном уровне определенное время, во много раз превышающее гарантийные сроки согласно технических условий.

Надежность систем автоматизации в сельском хозяйстве зависит как от квалификации обслуживающего персонала, так и от конкретных условий и особенностей эксплуатации отдельных элементов автоматики как внешних, так и внутренних блоков.

Наибольшее влияние на надежность работы аппаратуры при ее эксплуатации оказывают резкое изменение окружающей температуры, высокая влажность, агрессивность среды и различные механические воздействия.

При повышенной температуре портятся изоляционные материалы, уменьшается сопротивление изоляции, увеличивается опасность пробоев. В результате разрушения эмалевой изоляции в моточных изделиях появляются короткозамкнутые витки, что приводит к изменению электрических параметров этих изделий. Изменение параметров некоторых элементов (индуктивности, емкости, сопротивления) нарушает регулировку электрических схем, приводит к отказам аппаратуры. В электронных схемах появляются различные повреждения: ускоренный износ подвижных

контактов, электросоединений и др. В соленоидных ventилях портится резиновая мембрана и т. д.

Воздействие низкой температуры приводит к обледенению контактов релейной аппаратуры, сгущению смазки и повышению нагрузки в механических узлах. При низкой температуре отдельные элементы схемы также меняют свои параметры, что приводит к нарушению нормальных режимов работы всей системы.

При циклическом изменении температуры в местах соединений деталей возникают механические перенапряжения. Они могут привести к появлению трещин (микротрещин) в местах пайки и сварки из-за усталости материалов, к ослаблению винтовых соединений, расшатыванию закрепленных деталей и узлов и, как следствие, к необратимым изменениям нерегулируемых параметров, к нарушению герметичности приборов и аппаратуры.

Повышенная влажность оказывает наиболее сильное влияние на сопротивление и электрическую прочность изоляции. При нахождении влажных токоведущих деталей под напряжением (потенциалом) увеличивается ток утечки, в результате чего может иметь место электролиз, вызывающий перенос металла. Наибольшую опасность представляет электролиз между обмоткой, выполненной из медной проволоки и находящейся под положительным потенциалом, и корпусом, имеющим отрицательный потенциал. В результате электролитической эрозии может произойти обрыв или пробой изоляции обмотки.

Агрессивные среды, например выделение аммиака на свиноводческих фермах разрушают цветные металлы (медь, бронза и др.), что приводит к неисправностям в системе.

Большое влияние на надежность работы системы оказывают различные механические воздействия. Под действием вибраций и ударов происходят механические повреждения многих элементов схемы и в первую очередь датчиков и исполнительных механизмов. Нарушаются контактные соединения. Обламываются провода и жилы кабелей.

Надежность и долговечность работы системы автоматизации в значительной степени зависит от своевременного и грамотного технического обслуживания и правильной организации ремонта

аппаратуры. При выборе новых элементов следует учитывать нагрузочные характеристики.

Для правильной эксплуатации системы автоматизации и уменьшения числа неисправностей, происходящих по вине обслуживающего персонала, имеет значение качество оформления технической документации. Исполнительная техническая документация должна полностью соответствовать выполненному монтажу.

Для сбора, изучения и обобщения данных о качестве проектных решений, качестве монтажа и работоспособности элементов автоматики рекомендуется заполнять специальный формуляр, входящий в отчет. Более полный анализ надежности отдельных узлов систем автоматизации показывает, что имеется большой резерв повышения их надежности. Если использовать наиболее надежные элементы и узлы, хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации, то повышение надежности систем автоматизации в целом можно достичь без существенных капитальных затрат на модернизацию системы. Низкая надежность приборов автоматики снижает общую надежность систем автоматизации. Таким образом, наряду с нормированием надежности отдельных узлов системы необходимо вводить в ГОСТы прогрессивные нормативные показатели на все комплектующие изделия и на систему автоматизации в целом.

Регистрация даже мелких отказов в период наблюдения за опытным образцом автоматизированной системы в настоящее время затруднений уже не представляет, а между тем нормирование показателей надежности на автоматизированную систему в целом является мощным стимулом для повышения качества систем автоматизации.

#### Список использованных источников

1. Дружинин А.Н. Надежность автоматизированных производственных систем. – М. : Энергия, 1986 г. 480 с.
2. ГОСТ 24.701-86. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.

**Кондратьева Н.П., д.т.н., профессор, Большин Р.Г., к.т.н.,  
Краснолуцкая М.Г., к.т.н., Ваштиева А.В., Ахатов Р.З.,  
Шишов А.А., Ваштиев В.К.**

**ФГБОУ ВО Ижевская государственная  
сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ,  
ТЕЛЕМЕХАНИКА, РОБОТОТЕХНИКА  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК**

Сельское хозяйство является одной из важных отраслей экономики любой страны. Оно представляет собой серьезный бизнес. Поэтому в технологию выращивания сельскохозяйственных продуктов необходимо внедрять автоматизированные системы с микропроцессорным управлением, а также широко использовать мехатронику и робототехнику.

В настоящее время практически все развитые страны работают над переходом к безлюдному автоматизированному сельскому хозяйству на основе широкого применения мобильных и стационарных роботов. Эта область является очень наукоемкой, так как использует технологии искусственного интеллекта и требует изучения языков программирования [1, 2, 3]. Роботы способны обрабатывать почву, осуществлять внесение удобрений, производить посев, посадку растений, доение скота, стрижку шерсти, кормление животных и т.д. [4]. Вместе с этим часто задачи, поставленные перед автоматизированной машиной бывают достаточно сложны и носят индивидуальный характер например, сбор ягод или поддержание требуемой дозы облучения или параметров микроклимата. Робот должен проанализировать готовность продукта, что не хватает тому или иному растению или животному, соответствуют ли условия микроклимата, и т.д. Исполнительные механизмы, обычно комплектуются следящими электроприводами, функционирующими в комплексе с первичными преобразователями сигнала (датчиками), работающими на различных физических принципах – давление, светочувствительность, спектральный анализ и т.д. Применение микропроцессорных автоматизированных систем, телемеханики приводит к росту производительности.

Уже функционируют роботы, самостоятельно собирающие томаты. Благодаря системе технического зрения для статических и динамических объектов робот распознает изображения и различает степень спе-

лости плодов. Кроме этого создан робот, собирающий клубнику, используя алгоритмы интеллектуального машинного зрения и 3D-печатную руку, он определяет зрелость клубники, а затем срывать только зрелую ягоду. К ним также можно отнести зерноуборочные и почвообрабатывающие сельскохозяйственные машины, которые работают по GPS, летательные дроны, с помощью которых можно определить место замыкания фазы на землю и другие аварийные режимы в сельских электрических сетях высокой продолжительности.

Таким образом, в настоящее время существуют функционирующие на полях и фермах агропромышленные роботы, созданные в различных странах. В основном это мелкосерийные образцы, некоторые модели являются опытными и находятся в разработке. В недалеком будущем роботы будут использоваться для выполнения большинства задач – от посева и подкормки до применения химикатов.

#### Список использованных источников

1. Агровестиник. Искусственный интеллект в АПК: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://agrovesti.net/news/indst/iskusstvennyj-intellekt-v-apk-roboty-kompyuternoe-zrenie-i-vesy-dlya-svinej.html>.

2. Елизарова А.В. Состояние и перспектива развития мехатронных систем в сельском хозяйстве / Елизарова А.В., Елизаров В.В., Устинов Н.Н. // Молодой ученый. – 2016. – №27. – С. 73–75.

3. Кондратьева, Н.П., Сервис технических средств автоматики / Кондратьева Н.П., Юран С.И., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Большин Р.Г. // Ижевская ГСХА. Ижевск, 2021. С. 112

4. Сайт RoboTrends.ru Сельское хозяйство и роботы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mforum.ru/news/article/111773.htm>.

### **Кудинович А.Н., м.т.н., Смольский В.А. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Постоянная циркуляция потоков воздуха в животноводческих помещениях содействует хорошему внутреннему микроклимату

и самочувствию животных и персонала. При повышении температурной нормы у животных снижается аппетит и количество молока или привеса. При понижении нормы животные начинают больше есть для поддержания температуры тела, но это никак не отражается на объеме молока или привеса. В зависимости от помещения и условий, различают большое количество разнообразных модификаций приточно-вытяжных установок (далее, ПВУ) и способы регулирования микроклимата. Проанализируем основные варианты регулировки. Ключевыми критериями являются мощность и производительность.

Регулирование заслонок вентиляционной шахты (способ 1) удобно своей простотой и позволяет менять значения микроклимата до необходимых значений. Так в ночное время суток можно уменьшать поток из-за наименьшей активности животных, а в дневное время суток наоборот его увеличивать. В сравнении с дневным режимом работы (рис. 1а) в ночное время суток (рис. 1б) энергопотребление будет меньше в основном за счет цикла активности животных.

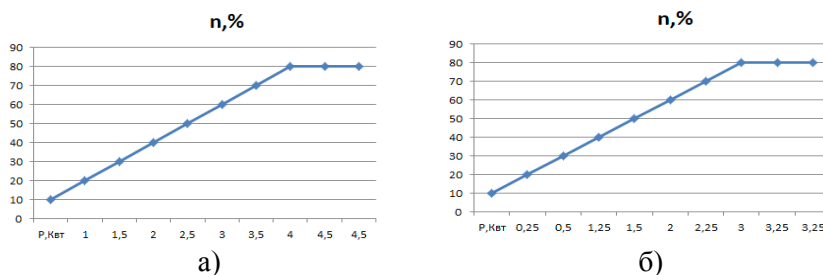


Рисунок 1 – Графики зависимости КПД от мощности способа 1:  
а) – в дневное время суток, б) – в ночное время суток.

Преимущества: простота, надежность и возможность регулировки в любое время. Недостатки: устаревший метод регулирования, громоздкость и необходимость участия персонала.

Регулирование включением и отключением системы (способ 2) позволяет установить более точные значения срабатывания при отсутствии персонала на ферме. Так же по биологическим часам животных можно более гибко обеспечивать значения микроклимата. Для данного способа регулировки необходимо программное обеспечение, контроллеры, автоматические выключатели, постоянное

питание, а так же элементы защиты и доступ к сети интернет. По заданным значениям установка будет включаться и отключаться, что требует потребления энергии на включение системы. КПД (рис. 2) растет, после чего доходит до установленного значения микроклимата. Благодаря датчикам система автоматически выключается, после чего процесс повторяется.

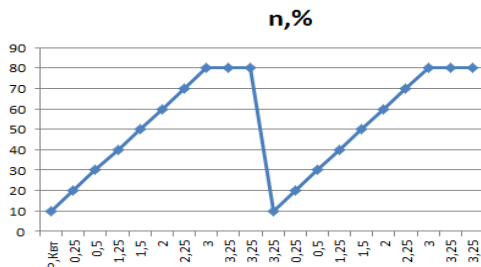


Рисунок 2 – График зависимости КПД от мощности способа 2.

Преимущества: автоматический режим работы, гибкая настройка микроклимата, постоянство работы. Недостатки: требуются элементы защиты, высокая стоимость оборудования.

Частичная регулировка электропривода (способ 3) требует дополнительного оборудования для системы ПВУ. Можно настроить управление в автоматическом режиме, а так же в ручном с помощью пульта управления. Настройка производится через прошивку микроконтроллера электропривода вручную или на заводе изготовителя. Возможно так же настроить включение в ночное время суток. Очень гибкая и простая регулировка микроклимата, позволяет открывать или закрывать заслонки приточного воздуха ПВУ в зависимости от условий содержания и времени года. Зависимость КПД от мощности (рис. 3) показывает автоматический режим работы регулировки заслонок с помощью датчиков и заданных значений. Система с определенной периодичностью открывает заслонки и закрывает их, когда достигается нужное значение микроклимата, после чего цикл повторяется.

Преимущества: автоматический режим работы, простота управления, надежность и высокий срок службы. Недостатки: высокая стоимость, требуется программное обеспечение, габаритные размеры.

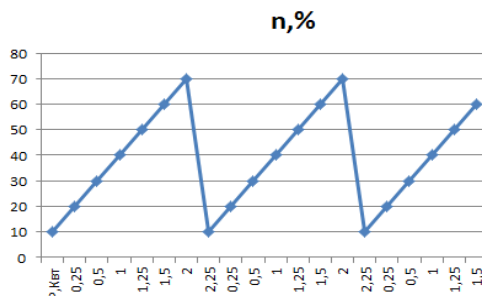


Рисунок 3 – График зависимости КПД от мощности способа 3

В ходе анализа различных способов регулирования ПВУ, можно сделать вывод, что все способы обладают хорошим КПД и не большой энергозатратностью. Отличия лишь в цене и участии человека в регулировке микроклимата. Самой лучшей схемой регулирования на наш взгляд будет смешанная, состоящая из включения и отключения системы, а так же частичной регулировки электропривода. Данная схема может быть полностью автоматизирована и не требовать участия человека. Она позволит легко настроить микроклимат в помещении в зависимости от животного и типа помещения. Так же позволит более точно собирать и анализировать условия и стабильность микроклимата для животных. С легкостью можно изменить настраиваемые параметры, если в помещении будут содержаться другие животные. Но минусом данной системы будет высокая стоимость и необходимость дополнительного оборудования для постоянной подачи питания на установки.

#### Список использованных источников

1. Электронный ресурс / Приточные отверстия для систем механической вентиляции в животноводческих помещениях – Германия 2016 – режим доступа <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/ventilation-for-greenhouses>
2. Электронный ресурс / Значение вентиляции в животноводстве – Индия 2021 – режим доступа <https://www.vinayakcorporation.com/the-significance-of-ventilation-in-poultry-management/>
3. Электронный ресурс / Проектирование системы вентиляции – 2019 – <https://www.fao.org/3/s1250e/S1250E0s.htm>



4. Электронный ресурс / Вентиляция животноводческих помещений – Россия 2016 – <https://studfile.net/preview/5709793/page:99/>

5. Электронный ресурс / Системы вентиляции – Беларусь 2021 – <https://btcvent.by/>

**Львова О.М., ст. преподаватель,**

**Дубкова А.В., ст. преподаватель**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ:**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Рост потребления электроэнергии в мире должен привести к построению новой энергоинформационной инфраструктуры через создание «умных» интеллектуальных сетей с элементами искусственного интеллекта. Среди различных подходов к решению данной задачи выделяются технологии с использованием искусственных нейронных сетей.

*Искусственная нейронная сеть* – математическая модель, а также ее программная и аппаратная реализация, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Искусственные нейросети успешно решают трудно формализуемые задачи, такие как, распознавание образов и речи, ассоциативный поиск информации, создание моделей нелинейных и трудно описываемых математически систем, а также прогнозирование их развития во времени.

Главное преимущество нейросети – возможность обучения. Искусственные нейронные сети могут менять свое поведение в зависимости от внешней среды, и на выходе будет получен верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке или были искажены.

В основе ИНС лежит *искусственный нейрон*, созданный по аналогии с биологическим нейроном. Общий вид искусственного нейрона приведен на рис.1.

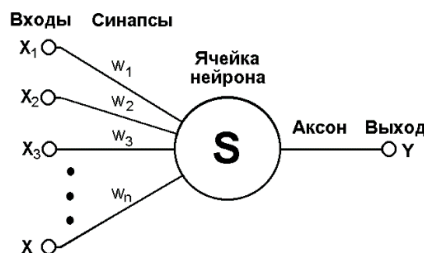


Рисунок 1 – Структура искусственного нейрона

Текущее состояние нейрона определяется как взвешенная сумма его входов:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

где  $n$  – число входов нейрона;  $x_i$  – значение входа  $i$ -го нейрона;  $w_i$  – вес  $i$ -го синапса.

Искусственные нейронные сети являются многослойными (рис. 2), то есть состоят из нескольких слоев нейронов: входного, внутренних и выходного. Внутренних слоев может быть от одного и больше. В многослойной нейронной сети каждый нейрон в любом слое связан со всеми нейронами предыдущего слоя. Сигнал передается в прямом направлении, от слоя к слою, генерируя выходную функцию. В обратном направлении распространяется сигнал ошибки. После вычисления ошибки, происходит коррекция весов  $w_i$  для каждого нейрона, далее процесс обучения нейросети повторяется до тех пор, пока ошибка не достигнет достаточно малых значений.

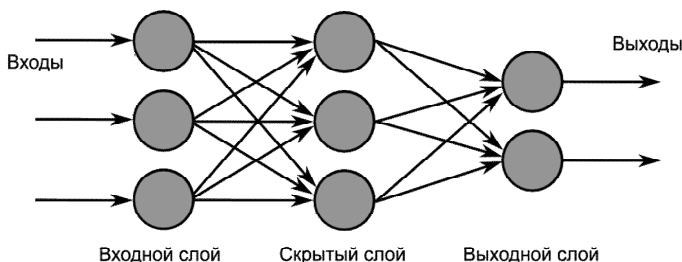


Рисунок 2 – Структурная схема многослойной искусственной нейронной сети  
Наиболее перспективными областями электроэнергетики в об-

ласти использования ИНС являются: прогнозирование нагрузки электроэнергетической системы, диагностика и локализация неисправностей, оптимизация распределения нагрузки, оценка надежности, а также динамическая устойчивость энергетической системы в целом.

Существующие методы прогнозирования, такие как регрессионное моделирование, экспертные системы, нечеткая логика и другие, имеют серьезные ограничения и упускают множество факторов. Использование нейросети решает эти проблемы, при этом учитываются такие факторы как, погодные условия, выходные дни, спортивные и культурные события. Применение нейронных сетей позволяет получить точность прогнозирования электропотребления на уровне 96–97 %, что дает возможность повысить эффективность энергетических компаний.

Главным преимуществом ИНС при проведении диагностики аварийных ситуаций является ее гибкость при большом потоке данных и информационном шуме.

Нейронные сети Хопфилда показали высокую способность решения задач оптимизации распределения нагрузки, при этом учитываются такие ограничения как, потери при передаче энергии, контроль уровней загрязнения энергоблока.

Оценка надежности ЭЭС – важнейшая задача, которую успешно решают ИНС, наибольшую эффективность показала нейронная сеть типа многослойный персептрон. Основным преимуществом персептрона является его способность к обучению в онлайн-режиме.

Искусственные нейронные сети в электроэнергетике предоставляют возможность в режиме реального времени проводить быструю обработку информации, проводить нелинейное моделирование и фильтрацию данных, а также проводить прогнозирование при стохастических изменениях рабочих параметров.

#### Список использованных источников

1. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. М.: Вильямс М, 2006. 1104 с.
2. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Вильямс М, 2001. 291 с.
3. Шакирин А.И. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: перспективы использования искусственных ней-

ронных сетей / А.И. Шакирин, О.М. Львова, А.И. Богданович.// сборник статей III Международной научно-практической конференции. Минск, 23-24 марта 2017 г – Минск: БГАТУ, 2017. – С. 248–250.

**Матвейчук Н.М., доцент, Мякинник Е.Е., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ЗАМКНУТОГО  
УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПОЛИВНОГО  
РАСТВОРА**

В настоящее время известны и используются в системах автоматического управления три фундаментальных принципа:

- принцип разомкнутого управления (по задающему воздействию);
- принцип компенсации возмущающего воздействия;
- принцип замкнутого управления с обратной связью (управление по отклонению).

Наибольшее распространение получил принцип замкнутого управления (рис. 1), позволяющий минимизировать отклонение управляемой величины от заданного значения.

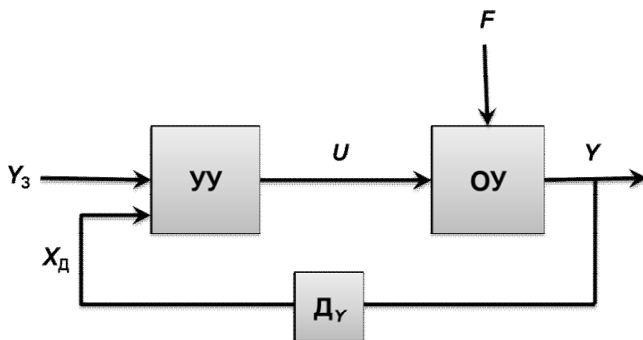


Рисунок 1 Принцип замкнутого управления

В работе рассматривается замкнутая система автоматического управления концентрацией растворов минеральных удобрений (рис. 2), позволяющая измерять концентрацию растворов в диапазоне от 0 до 0,2 МПа давления с точностью до  $\pm 10\%$  и управлять ею.

Концентрированный раствор минеральных удобрений готовят в специальном растворяющем баке Б1 с мешалками, откуда повысительными насосами М2 и М3 подают через регулирующий клапан в поливную воду.

Концентрацию удобрений в поливной воде измеряют датчиком QE (13а) кондуктометрического типа (по электропроводности раствора). Он имеет встроенный терморезистор, предназначенный для компенсации температурной погрешности. Датчик устанавливают в трубопровод за участком смешения концентрированного раствора и поливной воды. Его присоединяют через анализатор удобрений к регулирующему прибору QC (13б), который настраивают на двухпозиционное управление исполнительным механизмом ИМ1. Если концентрация минеральных удобрений в поливной воде больше заданной, то регулятор 13б через реле KV1 включает ИМ1 на уменьшение пропуска клапаном концентрированного раствора и, наоборот, если концентрация меньше заданной, то через реле KV2 включает ИМ1 на увеличение пропуска раствора. Для улучшения качества двухпозиционного регулирования используется импульсный прерыватель, состоящий из реле KV3 и блока БД генератора импульсов с периодом 20 с. Включение ИМ1 возможно только в случае одновременно замкнутых контактов KV3 и KV1 или KV3 и KV2.

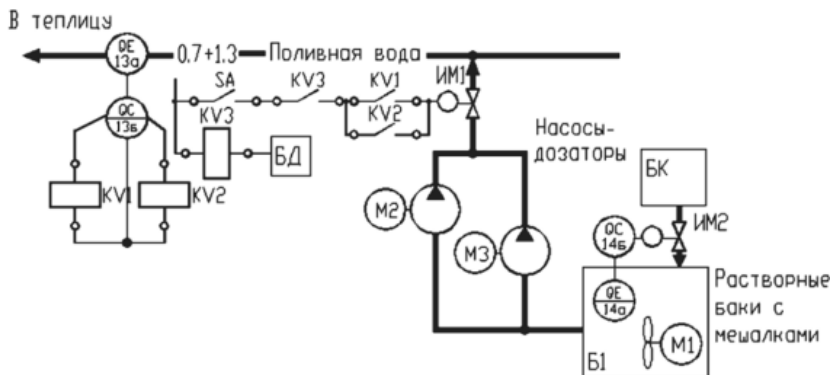


Рисунок 2 Схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений

Одной из основных характеристик растворов минеральных удобрений является показатель величины pH (при pH < 7 реакцию счи-

тают кислой, при  $pH > 7$  – щелочной). Для большинства растений оптимальное значение pH находится в пределах от 5 до 7 единиц pH. В процессе роста растений pH тепличной почвы изменяется, поэтому pH питательного раствора необходимо управлять. Значение pH определяют методами физико-химического анализа. Из экспрессных методов наиболее подходит электрометрический метод измерения pH, принцип действия которого основан на определении потенциалов электродов, помещенных в исследуемый раствор. Такой электродный датчик измеряет концентрацию водородных ионов pH в растворе и выдает на выходе сигнал в виде гальванического напряжения. Датчик 14а измеряет pH с точностью до 0,1 и передает сигнал на регулятор 14б, управляющий исполнительным механизмом ИМ2, который изменяет степень открытия регулирующего клапана. Это приводит к изменению подачи из бака БК специального раствора, корректирующего значение pH раствора удобрений в растворном баке Б1. Мешалка с электродвигателем М1 обеспечивает выравнивание концентрации минеральных удобрений по всему объему раствора.

Рассмотренная система с использованием принципа замкнутого управления повышает точность внесения количества минеральных удобрений, используемых для подкормки растений. Регулирование концентрации удобрений в поливном растворе способствует повышению урожайности и увеличению продолжительности срока хранения продукции.

#### Список использованной литературы

1. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб.пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 592 с.
2. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Издательство МЭИ, 2004. – 400 с., ил.
3. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 306 с.
4. Сидоренко, Ю.А. Теория автоматического управления: учебное пособие/ Ю.А.Сидоренко – Минск: БГАТУ, 2007. – 124 с.

**Маргун А.А.<sup>1</sup>, Матвейчук Н.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент**  
**<sup>1</sup>ИООО «ЭПАМ Системз», Минск, Республика Беларусь**  
**<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**  
**ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ**  
**АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗНОГО**  
**ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Процесс поддержания работоспособности оборудования обеспечивается сбором и анализом информации о состоянии его составных частей, для предотвращения потерь от поломок и простоев. Диагностика состояния оборудования, как правило, производится механиком после приезда на место поломки, то есть увеличивается время простоя оборудования, что приводит к финансовым потерям предприятия.

На сегодняшний день для обеспечения качественного обслуживания оборудования передовым компаниям необходимо осуществить переход от превентивного обслуживания оборудования к предиктивному, что позволит снизить затраты на устранение незапланированных сбоев, а также существенно увеличить временной промежуток между обслуживаниями. Рассмотрим пример автоматизированной PdMS-системы анализа и контроля индикаторов состояния большегрузной техники (от англ. SAP Predictive Maintenance and Service).

Выход какого-либо узла из строя обычно связан с тем, что значение какого-либо из индикаторов выходит за предел допустимых значений, поэтому важно обеспечить анализ и контроль данных технического состояния техники.

Для обеспечения возможности осуществления мониторинга состояния необходимо обеспечить сбор данных телеметрии с помощью установки различных датчиков, от которых затем будут приходиться сигналы о состоянии индикаторов большегрузной техники для дальнейшей оценки, мониторинга и анализа (рисунок 1).

Оборудование можно представить в виде системы, состоящей из отдельных узлов, сигналы о состоянии которых PdMS-система получает от соответствующих датчиков. Применение различных типов датчиков позволяет нам сформировать группы индикаторов, в зависимости от применяемого датчика (рисунок 2).

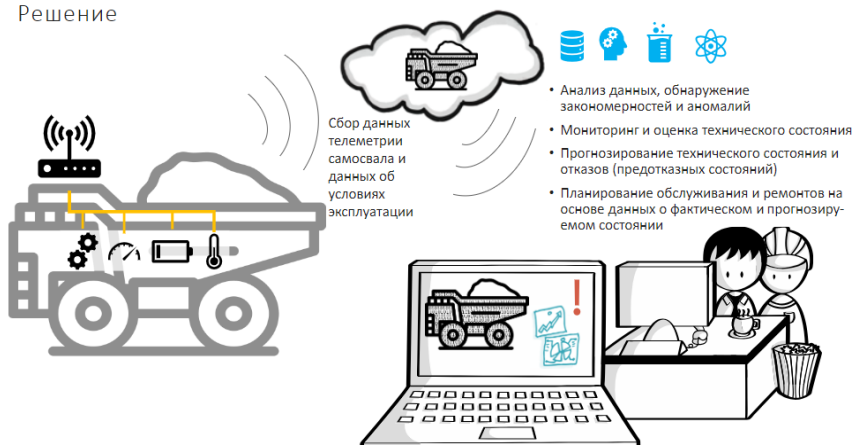


Рисунок 1 – PdMS-система

После передачи сигналов от датчиков на бортовой компьютер происходит передача информации на сервер и прием команд по беспроводному каналу связи стандарта GSM/GPRS (рисунок 3).

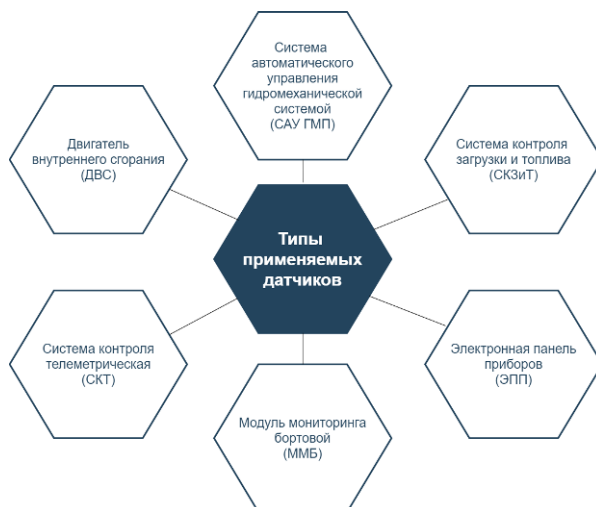


Рисунок 2 – Типы применяемых датчиков, которые передают сигналы о состоянии индикаторов большегрузной техники



Передача телеметрической информации на сервер происходит через GSM-сети, что позволяет быстро и с минимальными затратами разворачивать системы сбора данных.



Рисунок 3 – Схематическое представление процесса передачи данных телеметрии большегрузной техники на компьютер пользователя

С внедрением системы контроля и анализа индикаторов состояния большегрузной техники диагностика будет проводиться не на месте поломки, а после получения механиком уведомления от PdMS-системы, в которой будет выявлен выход за диапазон допустимых значений какого-либо индикатора. Затем определяется причина неисправностей путем просмотра информации о состоянии каждого узла оборудования в системе, после чего механик может сразу же заказать необходимые детали в случае необходимости и после их получения выехать на место поломки для устранения неисправности. Основным преимуществом является то, что необходимость в полной диагностике оборудования отпадает.

Таким образом, с помощью PdMS-системы предоставляется возможным оперативное получение точной информации о техническом состоянии оборудования, контроль и анализ которой позволит отслеживать и прогнозировать состояния машины, заблаговременно организовывать поставку запасных частей, а также планировать обслуживание оборудования, что приведет к снижению затрат и достижению максимальной производительности в работе техники на объектах.

**Мякинник Е.Е., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО**  
**СОСТАВА ЭКСТРУДИРУЕМОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ**

В результате развития вычислительных средств, в настоящее время имеется возможность сформировать управляющее воздействие на основе рассчитанных параметров. Для оптимального управления необходимо рассматривать процесс, как систему из многих переменных, взаимодействие которых полностью известно и может быть использовано в системе управления. В общем случае, моделирование экструзионного процесса затруднено многообразием конструктивного оформления экструдеров и различными свойствами полимеров, но при отладке модели на одном оборудовании, адаптировать результаты работы для иного оборудования будет проще.

Структурная схема с адаптивным регулятором, эталонной моделью и объектом управления изображена на рисунке 1. Необходимо определить коэффициенты  $r_1$ ,  $r_2$ .

Передаточная функция линеаризованного объекта управления состоит из ПИ-регулятора и звена 2-го порядка

$$W_3(p) = \frac{k_0 \beta (\tau p + 1)}{[\tau p (T)]_0^2 p^2 + 2\xi_0 T_0 p + 1 + k_0 \beta (\tau p + 1)} \approx \frac{1}{T^2 p^2 + 1 \xi \tau p + 1}$$

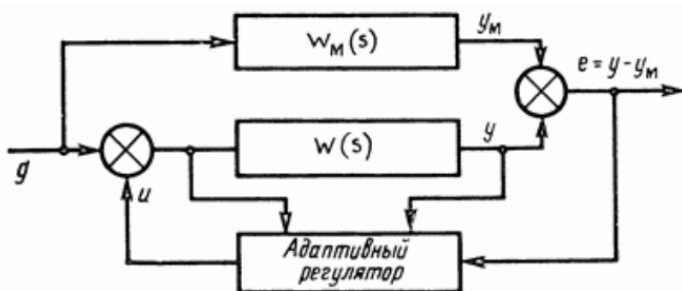


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного регулятора

Известно, что:

$$\dot{e}_1 = e_2, \sigma = r_1 + r_2, \sigma(t) = 0, \dot{\sigma}(t) = 0, r_1 e_1 + r_2 e_2 = 0,$$

$$r_1 e_1 + r_2 \dot{e}_1 = 0, \quad r_2 p + r_1 = 0, \quad p = -\frac{r_1}{r_2}.$$

Корни характеристического полинома объекта управления имеют общий вид. Нас интересует только вещественная часть.

$$p_{1,2} = \frac{\xi}{T} \pm \sqrt{\dots}$$

Пусть  $r_1 = 1$ , тогда  $r_2 < 1$ . Соотношение вещественной части корня характеристического полинома к коэффициента примерно 2...3 (рисунок 2).

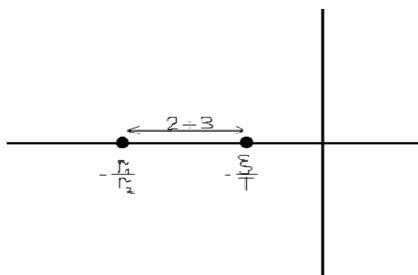


Рисунок 2 – Соотношение вещественной части корня ХП к коэффициентам  $r_1$  и  $r_2$

Возьмем известные значения постоянной времени  $T$  и коэффициента затухания  $\xi$  для эталонной модели.

$$-\frac{r_1}{r_2} = -\frac{1}{r_2} < -34, \quad -\frac{\xi}{T} = -\frac{0,68}{0,02} = -34;$$

Таким образом,  $r_1 = 1$ ,  $r_2 = 0,025$ . На рисунке 3 изображена полностью работоспособная модель адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной адаптацией.

Уточним некоторые важные моменты.

Блок выполняет функцию дифференцирования выходного значения скорости ОУ.

Коэффициент  $k_\infty$  было решено принять равным 1000. Коэффициент  $h=0.6$ . Характеристики блока насыщения (Saturation)  $[-1; 1]$ .

Блок выполняет роль фильтра и устраняет затяжной характер переходного процесса ОУ.

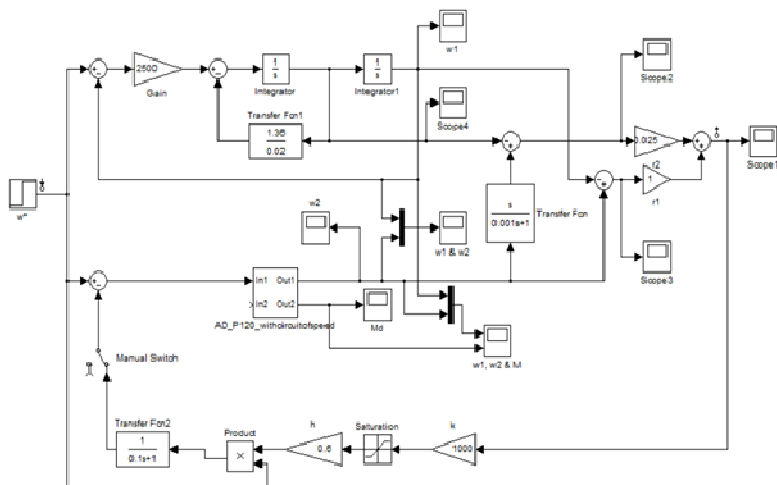


Рисунок 3 – Модель адаптивной системы

Приведенные результаты расчетов служат основой для настройки ПИ-регулятора таким образом, чтобы состояние экструдата соответствовало желаемому: была необходимая вязкость, температура. Ввиду инерционности процессов теплораспределения, в период прогрева экструдера измеряемая температура будет отличаться от действительной температуры в зоне на десятки градусов. В процессе производства (в установившемся режиме) разница между измеряемой и действительной температурой будет не более 2 °С.

#### Список использованной литературы

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. Дьяконов, В.П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании. Сер. «Библиотека профессионала» / В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

**Мякинник Е.Е., ст. преподаватель**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА РАЗОМКНУТОГО**  
**УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА В ТЕПЛИЦАХ**

В зависимости от конструкций теплиц, технологии выращивания в них овощей, технических возможностей тепличного хозяйства в теплицах применяют различные способы полива: дождевание; капельное орошение; шланговый, струйный и подпочвенный поливы. Наиболее распространенным способом полива является дождевание. Системой полива дождеванием оснащены все зимние теплицы. В небольших по площади теплицах применяют также шланговый полив. Данный способ полива очень трудоемок и в новых типовых проектах предусмотрен как резервный или дополнительный. В последние годы довольно широкое распространение в тепличных хозяйствах получает капельное орошение. Этот способ орошения позволяет рационально расходовать воду и минеральные удобрения. При его применении не наблюдается переувлажнения грунта, вымывания питательных веществ. Однако системой капельного полива нельзя провести сплошную промывку грунта, требуется больше затрат труда и средств на фильтрацию воды, подаваемой в систему капельного полива. Для выращивания культур, занимающих всю площадь теплицы, и для производства рассады этот способ полива непригоден.

Автоматическое управление влажностным режимом почвы и воздуха в теплицах пока не находит широкого применения в основном из-за недостаточной надежности и работоспособности датчиков влажности. Поэтому влажностный режим поддерживают при помощи разомкнутой системы программного управления, которая обеспечивает увлажнение воздуха и почвы посредством способов дождевания и корневого полива через капиллярные трубки.

В системах, работающих по принципу разомкнутого управления, при формировании управляющего воздействия учитывается только значение задающего воздействия (рис. 1).

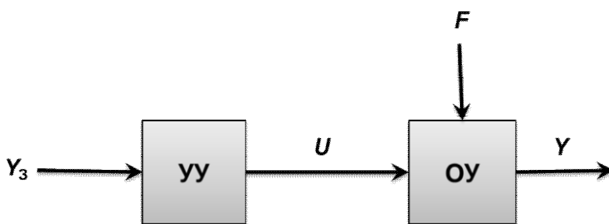


Рисунок 1 Принцип разомкнутого управления

Для равномерного распределения поливной воды в течение всего вегетативного периода применяют трансформируемую систему полива дождеванием путем перестановки оросительной системы по высоте.

Автоматизированная система полива дождеванием позволяет производить не только полив почвы, но и частичное увлажнение воздуха в теплицах, а также подкормку растворами минеральных удобрений.

Для увлажнения воздуха в теплицах, особенно в жаркое летнее время, нужна система форсунок, обеспечивающая мелкодисперсный распыл воды (размер капель менее 100 мкм). Однако при отсутствии специальных систем дождевания для борьбы с перегревом успешно применяется увлажнение дождеванием. Продолжительность работы системы при этом составляет 30...60 с, интервал – 1ч.

Временное программное устройство разрешает включение системы дождевания не чаще одного раза в 1ч с поочередным поливом по участкам 200–400 м<sup>2</sup>.

Воду, используемую для полива и увлажнения, предварительно подогревают до заданной температуры в подогревателе при помощи горячей воды из теплосети.

Автоматический полив в теплице повышает урожайность овощей. Почва всегда остается равномерно влажной.

#### Список использованной литературы

1. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Издательство МЭИ, 2004. – 400 с., ил.
2. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 592 с.

3. Сидоренко, Ю.А. Теория автоматического управления: учебное пособие/ Ю.А. Сидоренко – Минск: БГАТУ, 2007. – 124 с.
4. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 306 с.

**Мясоедова М.А., к.т.н., доцент, Руденко В.В. , к.т.н., доцент,  
ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная  
академия им. И.И. Иванова, Курск, Россия**  
**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОБЪЕКТОВ АПК НА ОСНОВЕ  
СИНТЕЗА ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ**

Продовольственная безопасность страны – главная проблема, стоящая перед сельскохозяйственной отраслью. Для её разрешения необходим достаточный уровень электрификации сельскохозяйственного производства обеспечивающий эффективную эксплуатацию электрооборудования.

Состояние находящегося в эксплуатации электрооборудования и электрических сетей оказывает существенное влияние на работоспособность всего технологического оборудования сельского хозяйства.

Исходя из особенностей эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственном производстве, его физического старения и выхода из строя вытекает необходимость частой диагностики его технического состояния.

За последние десятилетия в электроэнергетике находят применение способы диагностики, обеспечивающие выявление дефектов электрооборудования на ранней стадии их развития и позволяющие контролировать достаточно широкий спектр параметров, составляющие основу экспертных систем принятия решений.

В данной работе для решения вопросов обеспечения надежности электроустановки, предлагается метод синтеза гибридных нечетких математических моделей прогнозирования и диагностики надежности электроустановок, реализуемый следующей последовательностью действий.

В соответствии с требованиями, принятыми в квалиметрии формируется группа экспертов, которые проходят подготовку по

синтезу гибридных нечетких решающих правил в технической предметной области.

При наличии обучающих выборок достаточного объема с использованием нечетких моделей МГУА изучаются возможные мультипликативные эффекты с построением моделей оценки уверенности в появлении и (или) развитии отклонения  $\omega_\ell$  в соответствии с выражением:

$$UEP_\ell^d = \max[\mu_{r\ell}^d(Z_{r\ell})], \quad (1)$$

При отсутствии обучающих выборок достаточного объема эксперты получают функции принадлежности  $\mu_{\ell j}^d(Z_{\ell j})$  для частот  $j$  с базовой переменной, определяемой выражением:

$$Z_{\ell j} = f_{\ell j} \left( \frac{Q_j}{Q_j^*} \right) \cdot f_{\ell j}^*(t_j), \quad (2)$$

Уверенность в появлении и развитии несоответствия  $\omega_\ell$  определяется выражением:

$$UEP_\ell^d = A_g EP_\ell^d[\mu_{\ell j}^d \cdot (Z_{\ell j})], \quad (3)$$

Соответствующая уверенность определяется выражением:

$$UEP_\ell^d = A_g EP_\ell^d[KU_{\ell pq}^d], \quad (4)$$

Если из выбранного перечня воздействий есть те, которые зависят от времени воздействия  $t_i$ , то аналогично (2) вводятся нормировочные функции  $f_{\ell j}(Y_i^*)$ ,  $f_{\ell j}(t_i)$ , а соответствующий показатель вычисляется по формуле:

$$Y_i = f_{\ell j}(Y_i^*) \cdot f_{\ell j}(t_i) \quad (5)$$

Уверенность в  $\omega_\ell$  по этому блоку признаков определяется выражением:

$$UV_\ell^d = A_g UV_\ell^d[\mu_\ell^d(Y_i)] \quad (6)$$

Определяется алфавит признаков  $Sg$ , характеризующих текущее состояние по которым определяются функции принадлежно-



сти  $\mu_\ell^d = (S_r)$  с их агрегацией в частные решающие правила вида:

$$UD_\ell^d = A_g UD_\ell^d [\mu_\ell^d (S_r)], \quad (7)$$

В соответствии с общими рекомендациями по синтезу гибридных нечетких решающих правил частные математические модели агрегируются в финальные решающие правила вида:

$$UF_\ell^d = A_g UF_\ell^d [UEP_\ell^d, UV_\ell^d, UD_\ell^d], \quad (8)$$

При наличии обучающих выборок параметры полученных решающих правил могут быть скорректированы в сторону минимизации ошибок принятия решений с помощью специализированного пакета прикладных программ.

#### Список использованных источников

1. Мясоедова М.А. Современные системы оценки технического состояния электрооборудования/ М.А. Мясоедова, Е.Н. Познахирёв. – материалы Международной научно-технической конференции. «Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России». – Курск. – 2021. – 193 с. ISBN: 978-5-907512-28-3.

2. Мясоедова М.А. Гибридные нечеткие модели оценки функционального состояния и состояния здоровья человека-оператора информационно-насыщенных систем/ М.А. Мясоедова, Н.А. Кореневский, С.Н. Родионова, И.И. Хрипина, // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2019. – Т. 18. № 2. – С. 105–109. ISSN: 1682-6523

3. Мясоедова М.А. К вопросу надежности систем электроснабжения/ М.А. Мясоедова, Мамонова Л.Г. – материалы Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение агропромышленного производства». – Курск. – 2018. – с.425. ISBN: 978-5-7369-0819-6

4. Мясоедова М.А. Вектор развития электрификации сельского хозяйства/ М.А. Мясоедова, Мамонова Л.Г. – материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы электрификации сельского хозяйства» – Ярославль. – 2018. – с. 126. ISBN 978-5-98914-188-3.

**Павловский В.А.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**  
**ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Автоматизация технологических процессов предполагает замену в операциях управления человека техническими средствами. В общем случае труд оператора при управлении направлен на сбор информации, подготовку и принятие решений, контроль за их исполнением. Действия оператора основываются на знании технологии производства и объекта управления. Отметим в операциях управления наличие функции связанной с обработкой информации.

Насколько важна информация в управлении ясно из следующей цитаты: «Поэтому говорят: если ты знаешь врага и знаешь себя, тебе не нужно волноваться за исход сотни сражений. Если ты знаешь себя, но не знаешь врага, за каждую достигнутую тобой победу ты расплатишься, потерпев поражение. Если ты не знаешь ни себя, ни врага, ты будешь проигрывать всегда.» [1].

Переход от незнания к знанию освобождает от предрассудков и делает выбор в принятии решений адекватным. Составляющие информацию сведения о технологическом процессе уменьшают неопределенность в действиях по управлению. Сведения о технологическом процессе могут быть получены измерением контролируемых параметров по каналам обратных связей и косвенно с помощью вычислений по имеющимся данным и моделям. Количественные и качественные оценки технологических параметров, а так же результаты их обработки представляют собой ценную технологическую информацию.

Наиболее полно обработать и использовать технологическую информацию с целью повышения эффективности управления позволяет микропроцессорная техника. Для этого аналоговый сигнал преобразуется в унифицированный электрический и затем в цифру сохраняемую в памяти микропроцессорной системы. Перевод информации сигналов в цифровой вид предоставляет новые большие возможности в хранении и обработке обеспечиваемые микропроцессорной техникой, которые отсутствовали для сигналов в аналоговом виде. Таким образом, создаются предпосылки для возникновения новых направлений применения ранее недоступной в управлении информации.

Микропроцессор предназначен для обработки информации. С помощью микропроцессора устройства управления способны обрести комплексное информационное восприятие объекта управления. В частности устройствам управления типа микропроцессорные контроллеры свойственна мультиплексность, т.е. способность практически одновременно (квазипараллельно) осуществлять управление несколькими процессами. Достигается это распределением ресурсов между отдельными информационными задачами операционной системой реального времени.

Таким образом, один контроллер способен поддерживать управление несколькими контурами регулирования. Кроме этого контроллер способен одновременно осуществлять еще и управление последовательностью операций (логическое управление). При этом вся собираемая, обрабатываемая контроллером информация по всем задачам располагается в его памяти в цифровом виде, что делает её доступной для использования при решении любой из задач.

Такая возможность позволяет при наличии реально существующей связи между отдельными процессами в сложном объекте учесть это, введя полезную информационную связь между отдельными задачами в устройстве управления. Введение полезных информационных связей приводит к появлению синергетического эффекта — новых полезных свойств системы не характерных для ее частей взятых по отдельности, что выражается в виде повышения качества управления и экономическом эффекте.

Такой подход в целенаправленном совершенствовании систем управления при использовании микропроцессорных систем управления можно назвать принципом введения полезных информационных связей (ПВИПС).

Эффективен будет этот принцип и при создании распределенных микропроцессорных систем управления сложными объектами.

Устройство управления должно постоянно проверять правильность хода технологического процесса, при этом особенно важна координация отдельных специализированных задач. Для этого необходимо правильно организовать обмен данными между программными модулями, как локально, так и в распределенной среде, интерфейс пользователя и взаимодействие между вычислительной системой и технологическим оборудованием.

Таким образом, для улучшения характеристик технологического процесса необходимо, используя возможности микропроцессора, обрабатывать всю доступную полезную информацию. Эффектив-

ность микропроцессорных устройств управления во многом определяется не их вычислительной мощностью, а способами обработки информации, являющимися неотъемлемой частью, заданными в виде алгоритмов и программ.

Сочетание биологии и техники, нестационарность и распределенность в пространстве и времени, нелинейные и недетерминированные связи между параметрами заставляют относить технологические процессы сельскохозяйственного производства к сложным объектам управления. Примитивность управления приводит к существенной хаотичности в производстве и, как следствие, к низкой его экономической эффективности. Повышение эффективности агропромышленного производства объективно требует внедрения новых совершенных устройств управления на базе микропроцессорной техники.

В управлении технологическими процессами существенное значение имеют информационные процессы. Управляющие воздействия формируют на основе информации об объекте управления. При этом объект управления адекватно отображается моделью соответствующей информационной системы в устройстве управления. Адекватность отображения объекта управления достигается при информационном разнообразии устройства управления равном, либо превышающем разнообразие объекта управления. То есть для каждого состояния или процесса протекающего в объекте управления, должно быть соответствующее состояние или процесс в информационной системе устройства управления.

Список использованных источников

1. Сунь-цзы. Искусство войны. – Москва: Эксмо, 2021. – 160 с.

**Павловский В.А., Решкевич В.В.**

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

### **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ В СВИНАРНИКЕ**

Основными параметрами микроклимата в свинарнике являются: температура, влажность, концентрация вредных газов, скорость движения воздуха.

На работу системы поддержания микроклимата существенное воздействие оказывает окружающая среда. Выделяют теплый, переходный и холодный период года. В теплый период года, который в основном приходится на календарное лето, основной проблемой является повышение температуры. Для снижения температуры, прежде всего, увеличивают вентиляцию помещения. В теплый период требуемый объем вентиляции для снижения температуры в разы превышает, объёмы вентиляции необходимые для удаления излишков влаги и вредных газов. Весной и осенью, в переходный период, повышается влажность и снижается температура. Объём вентиляции для удаления излишков тепла может оказаться ниже объема вентиляции для выноса избытков влаги. В холодный период, зимой, температура в помещении падает, и для её повышения используют систему отопления, система вентиляции в этот период решает проблему удаления из помещения вредных газов и подачи объема воздуха необходимого для дыхания, объём вентиляции при этом должен быть минимальным.

Возможные варианты реализации системы автоматического регулирования температуры в свинарнике:

1) вентиляторы включаются позиционно.

Достоинства: дешевизна системы.

Недостатки: низкая точность поддержания необходимого воздухообмена (дискретность шага составляет производительность одного вентилятора).

2) вентиляторы включаются позиционно, плавное регулирование осуществляется шиберными заслонками.

Достоинства: можно обеспечить высокую точность, 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 двигателя вентилятора 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 вентиляторов включаемых позиционно и одного с частотным приводом:

При самом простом варианте с одинаковой производительностью всех вентиляторов количество возможных комбинаций включения равно количеству вентиляторов. При вентиляторах с различной производительностью, теоретическое количество возможных комбинаций будет равно  $2^{n-1}$ , поскольку регулируемая ступень включена постоянно. Если производительность каждой последующей ступени будет превышать предыдущую на половину производительности плавно регулируемой ступени, то регулируемая ступень будет находится в экономически приемлемом режиме загрузки.

**Пансевич Н.А., Якубовская Е.С.**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ**  
**АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДГРЕБАТЕЛЕМ**  
**КОРМОВ НА ФЕРМЕ КРС**

Исследованиями установлено, что продуктивность животных на 50–55 % определяется кормами [1, с. 278]. Кормление должно быть

сбалансировано как по количеству, так и по качеству корма. На фермах КРС чаще всего применяют групповое нормирование грубых и сочных кормов и индивидуальное нормирование концентрированных кормов. Грубые корма обычно подают на кормовой стол, например, мобильным кормораздатчиком. При этом на полосах для раздачи кормов формируются вал корма, который при кормлении животные расталкивают. В результате часть кормов оказывается вне зоны доступа животных. Постоянное наличие корма в зоне доступа животных на кормовом столе повышает его потребление и сокращается количество недоеденных остатков, поэтому обязательным условием применения кормового стола является периодическое подталкивание корма. Ручное осуществление данной операции характеризуется высокой трудоемкостью и низкой производительностью. Организация подгребания на базе трактора с навесными орудиями увеличивает производительность, но приводит к шуму и загрязнению кормового стола. Использование робота-подгребателя, действующего по определенной программе, устраняет указанные недостатки, но требует реализации автономной системы автоматического управления (САУ). Рассмотрим, каковы особенности такой САУ.

Конструктивно робот-подгребатель состоит из корпуса с юбкой (включаемой приводом), колес с приводом для перемещения, сигнальной лампы (мигающей в случае аварии), адаптера с аккумулятором, комплекта датчиков и устройства управления [2]. Имеются также модели, обеспечивающие не только подгребание грубых кормов на кормовом столе, но и раздачу концентрированного корма. Остановимся на первом типе робота-подгребателя.

Требованиями к системе автоматического управления подгребателем кормов является следующее: программная работа в заданное время, прохождение пути от базы (места зарядки аккумулятора) до кормового стола, прохождение маршрута вдоль стола с подгребанием корма, возвращение на базу, остановка в случае препятствий впереди с включением мигалки-сигнализации, возможность аварийного останова вручную.

Сложность построения системы автоматического управления состоит в том, что это мобильный агрегат, и следует предусмотреть автономное питание от аккумулятора (рисунок 1).

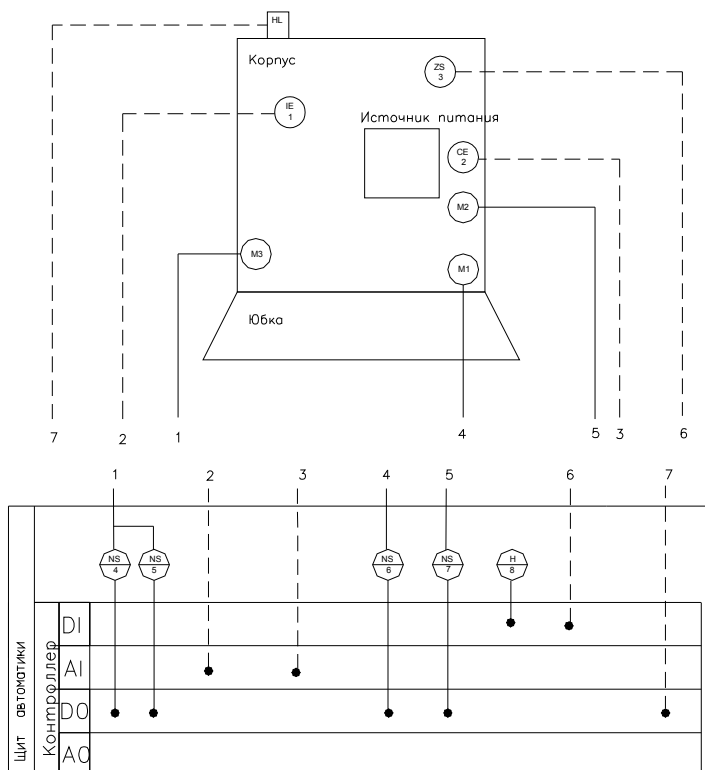


Рисунок 1 – Схема автоматизации подгребателя кормов

Чтобы реализовать все требования к системе автоматического управления подгребателем кормов следует предусмотреть следующий объем датчиков: индукционный датчик для отслеживания перемещения по металлической полосе, ультразвуковой датчик для контроля препятствий, концевой выключатель (датчик положения) для фиксации подъезда к базе. Компактности системы управления можно добиться только при использовании контроллера. Он будет формировать программный сигнал пуска подгребателя, отслеживая время кормления, обеспечивать управление перемещением с включением на необходимом участке пути привода юбки. По сигналу ультразвукового датчика при наличии идентифицированного препятствия впереди контроллер обеспечивает



осанов с включением лампы сигнализации и будет обеспечивать продолжение работы, когда препятствие пропадет.

Таким образом, для обеспечения полноценного кормления на ферме КРС эффективно использовать робот-подгребатель корма, автоматизация которого имеет следующие особенности: наличие автономной системы питания, разработка интеллектуальной системы управления, обеспечивающей работу строго по времени кормораздачи, необходимый маршрут движения, отслеживание препятствий, возможность аварийного останова вручную.

#### Список использованных источников

1. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2015. – 376 с.

2. Cow-boy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sacmilking.ru/collection/robot-pododvigatel-korma/product/robot-podtalkivatel-kormov-cow-boy>. – Дата доступа: 25.03.2021.

**Попов Д.С., Матвеев И.П., к.т.н., доцент**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ЗАЩИТЫ ИСТОЧНИКОВ**  
**ПИТАНИЯ В PROTEUS**

В настоящее время созданы и применяются разнообразные программы схемотехнического проектирования и моделирования электронных устройств, что позволяет разрабатывать и исследовать виртуальные схемы различных устройств на компьютере.

Широкое распространение получили системы Electronic WorkBench, MathLab, Proteus.

В данной работе для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus, которая представляет собой симулятор принципиальных электрических схем. Proteus включает большую библиотеку электронных компонентов, что позволяет проектировать электронные схемы различной сложности, а также моделировать их работу. Таким образом, можно просмотреть результаты работы виртуальной схемы, скорректировать параметры элементов, увидеть ошибки до практической реализации.

В работе смоделированы виртуальные схемы защиты источника питания от короткого замыкания в среде Proteus. В результате исследования схем подобраны оптимальные параметры элементов схем для обеспечения работоспособности.

Эти две схемы обеспечивают защиту подключенных к ним устройств от повышения напряжения при нарушениях режима работы стабилизатора или при попадании на них напряжения извне. Они предназначены для использования с источниками питания, в которых предусмотрен тот или иной способ защиты от короткого замыкания [1]. Их можно применять с 5 В источниками питания логических схем, так как ТТЛ-схемы легко повреждаются при повышении напряжения. Схема (рис. 1) предназначена для 5 В источника, хотя вполне применима для защиты источников питания напряжением до 25 В. Как только напряжение источника питания превысит напряжение стабилитрона D2 более чем на 0,7 В, откроется транзистор Q1 (в данном случае биполярный транзистор р-н-р-типа 2N2905) и включит тиристор U2 (тип 10TTS08S), который закоротит источник питания и предотвратит дальнейшее возрастание напряжения. В качестве нагрузки при моделировании подключили резистор R4.

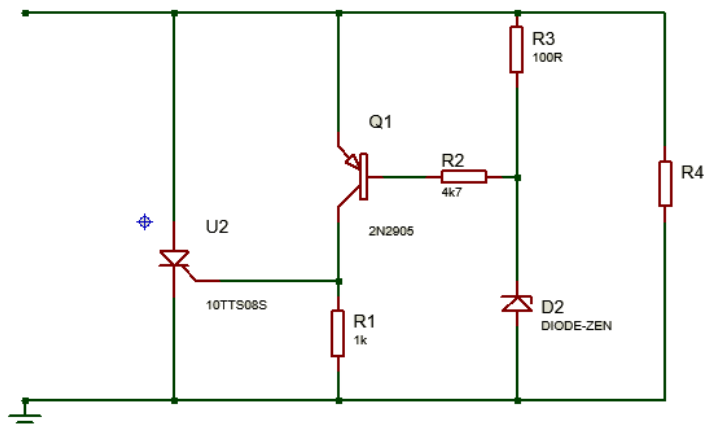


Рисунок 1 - Схема защиты источника питания от короткого замыкания

Когда источник питания защищен только плавким предохранителем, лучше подключить тиристор схемы защиты перед стабилизатором источника U1 (рис. 2).

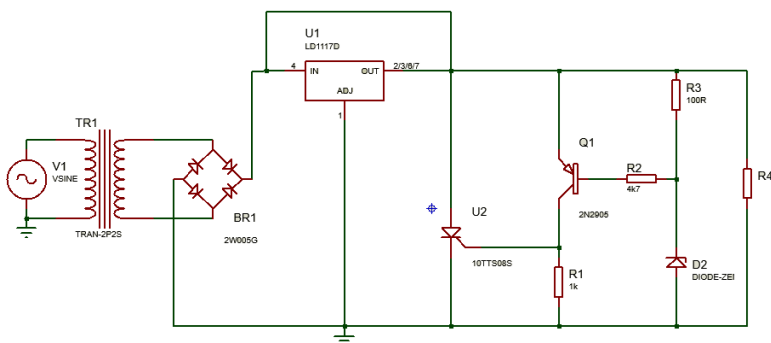


Рисунок 2 – Схема защиты источника питания от короткого замыкания с стабилизатором источника

Эта схема предназначена для защиты от короткого замыкания зарядного устройства, но может работать с любым трансформаторным блоком питания без сглаживающих конденсаторов [2].

Тиристор должен выдерживать ток, примерно вдвое больший, чем предполагаемый ток короткого замыкания, и максимальное напряжение, превышающее напряжение источника питания.

Схема приводится в исходное состояние либо выключением источника питания, либо кратковременным замыкание тиристора с помощью выключателя.

После исследования схемы на работоспособность устройства, было проведено размещение элементов на плате и её трассировка. С помощью программы Proteus можно также увидеть макет будущего устройства с использованием 3D-визуализации.

Таким образом, программа позволяет достаточно просто проектировать различные электронные схемы, подбирать и изменять типы и номиналы элементов для задания различных режимов работы схемы, проверять работоспособность спроектированных схем.

#### Список использованных источников

1. Граф Р., Шиитс В. Энциклопедия электронных схем // М.: ДМК-пресс – 2010. – С. 321.

2. Электронный ресурс: <https://soto-lux.ru/raznoe/zashhita-ot-kz-dlya-bloka-pitaniya-na-tiristore-shema-zashhity-istochnika-pitaniya-ot-peregruzki-na-ku202.html>.

**Пуцько А.И., к.т.н., доцент, Ловкис В.Б., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
СОВРЕМЕННЫЙ КОМБИКОРМОВЫЙ ЦЕХ  
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Насыщение продовольственного рынка страны высококачественными мясными и молочными продуктами является одной из важнейших социально-экономических задач на ближайшую перспективу. Поэтому одна из последних разработок ученых РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» стал автоматизированный комплект оборудования для производства полнорационных комбикормов КОКК-10. Его особенностью стало реализация технических решений по компоновке основного технологического оборудования в виде контейнеров, установленных по вертикальной схеме и применение современной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Общий вид автоматизированного комплекта комбикормового оборудования КОКК-10 в хозяйстве СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид комплекта комбикормового оборудования КОКК-10 в СПК «Прогресс-Вертелишки»

Управление работой комбикормового цеха осуществляется новой автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) с помощью сенсорной панели, которая установлена на лицевой панели силового шкафа. Визуализация АСУ ТП представлена на рисунке 2.

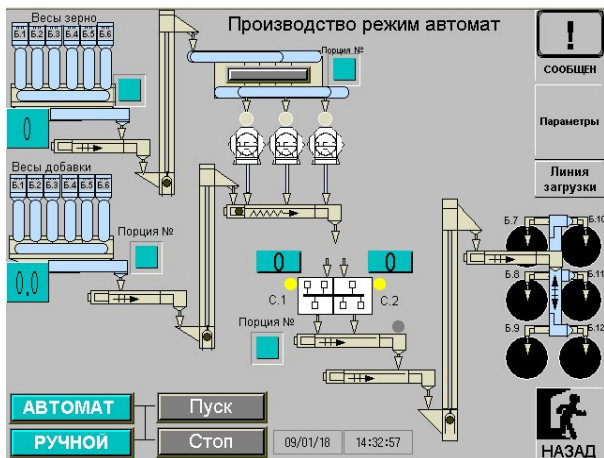


Рисунок 2. – Общий вид панели управления АСУ ТП комплекта оборудования КОКК-10

Оператор имеет возможность управления механизмами, задания режимов работы АСУ ТП (ручной/автомат), а также устанавливать начальные параметры (задать рецепт, вес порции, выбор дробилки, бункера для загрузки зерна, бункера для выгрузки комбикорма, общий вес комбикорма по данному рецепту и т.д.).

Центральный компьютер дистанционно управляет приводами всех механизмов, получая непрерывную информацию об их состоянии от различных датчиков: частоты вращения, уровня, массы, положения. Для контроля управления параметрами такого высокоэнергоемкого оборудования, как молотковые дробилки (режим холостого хода, нагрузка), в частности степени загрузки электродвигателя при измельчении различных зерновых материалов применены контроллеры для ПИД-регулирования.

Применение АСУ ТП позволило сократить число ситуаций, вызывающих остановку технологических процессов, повысить надежность работы оборудования; снизить эксплуатационные затраты, достичь требуемой производительности и согласованности механизмов.

В целом использование комплекта оборудования для приготовления комбикормов с автоматизированной системой управления показывает значительные организационные преимущества:

- упрощается организация, контроль и управление производственным потоком;
- оборудование обслуживается одним оператором и рабочим;
- отпадает необходимость в создании начальных заделов при переходе с рецепта на рецепт;
- сокращается время переналадки оборудования при смене рецептуры и выполнения расчетов.

Результаты эксплуатации комплекта оборудования в СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района показывают высокую эффективность его использования. За период работы с 1.01.2018 по 1.03.2019 гг. было произведено 6400 т комбикормов для дойного стада и 10274 т для молодняка КРС. При этом себестоимость производства составила 417 руб/т. и 264 руб./т соответственно. Годовой экономический эффект от применения использования разработки составил 59000 руб. [1]. В целом за время работы КОКК-10 было выпущено продукции на сумму 5,38 млн руб.

Практический результат работы показал, что данная разработка позволит не только получать качественный сбалансированный комбикорм, но и найдет свое место в хозяйствах, имеющих молочно-товарные фермы и комплексы.

#### Список используемых источников

1. Протокол государственных приемочных испытаний ГУ «Белорусская МИС» комплекта автоматизированного оборудования для производства полнорационных комбикормов КОКК-10 от 25.05.2018 г. № 052Д ¼ ИЦ-2018.

**Пустовит В.С., Жур А.А. ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ  
СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ  
В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

Для нормального течения физиологических процессов в организме животных необходим чистый воздух в помещении по своим физико-химическим свойствам, близкий к атмосферному.

Крупный рогатый скот, содержащийся в помещениях с нерегулируемым микроклиматом, снижает продуктивность. У молочных коров при температуре выше  $23^{\circ}\text{C}$  уменьшается удой, выше  $26^{\circ}\text{C}$  – содержание жира в молоке, у животных учащается пульс и дыхание, затрудняется теплоотдача. С понижением температуры до минус  $5^{\circ}\text{C}$  потребление кормов увеличивается в 1,5–2 раза.

Повышенная влажность воздуха также отрицательно сказывается на продуктивности. Установлено, что при повышении влажности на каждые 5 % выше 85 % у высокопродуктивных коров суточный удой уменьшается на 1,22–1,43 кг. Влияние температуры и влажности воздуха может усиливаться или ослабляться в зависимости от скорости воздуха.

Молодняк особенно чувствителен к условиям микроклимата. Резкие колебания температуры, сквозняки и сырость в телятниках и родильных отделениях животноводческих ферм вызывают большую смертность телят, особенно в первые недели жизни. При температуре выше  $25^{\circ}\text{C}$  снижаются привесы, замедляется рост и развитие молодняка. Влажность в помещениях 90 % и выше предрасполагает телят к заболеванию легких.

В одинаковых условиях кормления, но при пониженной температуре, высокой влажности и большой скорости движения воздуха привесы молодняка снижаются на 15–20 %.

Очень важно соотношение между температурой воздуха в помещении и скоростью его движения. Воздух одной и той же температуры ощущается холодным, если он движется со скоростью более 1 м/с и нормальным при скорости движения 0,2–0,25 м/с.

К системам вентиляции предъявляются определенные требования – они должны создавать в различные периоды года, необходимый воздухообмен на единицу живой массы, животных и обеспечивать равномерное распределение и циркуляцию воздуха внутри помещения, чтобы не было мест застоя и скопления влажного запрещенного воздуха («мертвых зон»).

Режимы работы вентиляционно-отопительного оборудования на протяжении всего года принято условно делить на три периода.

Холодный период охватывает сезон, когда вследствие низкой температуры наружного воздуха, тепла, вырабатываемого животными, не хватает для поддержания в помещениях необходимой температуры воздуха. С целью экономии тепла воздухообмен должен быть минимальным. Вследствие низкого влагосодержания холодного наружного воздуха в помещении

наблюдается малая относительная, влажность. Воздухообмен определяется по условию удаления углекислоты, и лишь при небольших холодах – избытком влаги.

Переходный период охватывает весенний и осенний сезоны, в течение которых относительная влажность воздуха увеличивается по сравнению с холодным периодом. Температура принимает значение в промежутках от 0 С до плюс 10 С. Вследствие увеличенного влагосодержания наружного воздуха воздухообмен в переходный период определяется из условий удаления избыточной влаги или излишков тепла.

Теплый период соответствует летнему сезону, когда помещение не требует дополнительного обогрева, а, наоборот, в таких помещениях образуются излишки тепла, которые необходимо удалять при помощи резкого увеличения воздухообмена.

Из чего следует, что при температуре наружного воздуха ниже 0° С воздухообмен в животноводческих помещениях минимальный, постоянный и определяется из условий удаления углекислоты. В переходный период воздухообмен плавно увеличивается и в начале периода определяется из условий удаления влаги, а в конце – из условий удаления тепла. В теплый период года воздухообмен резко увеличивается и определяется по температурному режиму внутри помещений.

Исходя из вышесказанного, оптимальная по технологическим и экономическим критериям будет являться автоматизированная система управления, представленная на рисунке 1, где воздухообмен в помещениях обеспечивается:

- в зимний период посредством датчика *QE* и регулирующего прибора *QC* концентрации CO<sub>2</sub> в помещениях;

- в переходный период посредством датчика *ME* и регулирующим прибором *MC* влажности воздуха;

- в летний период посредством датчика *TE* и регулирующего прибора температуры *TC*.



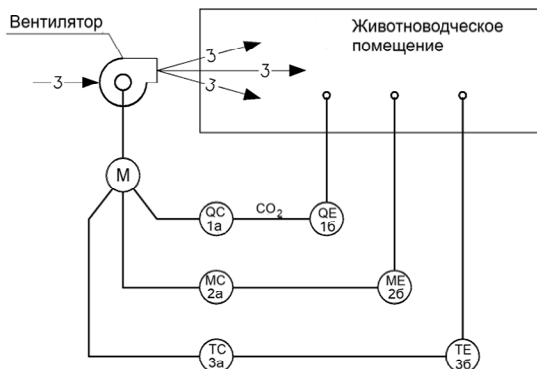


Рисунок 1 – САУ микроклимата

Способ регулирования (позиционное или непрерывное) определяется:

- технологическими требованиями к качеству регулирования;
- динамическими характеристиками ОУ;
- типом управляющего устройства, допускающим позиционное или плавное управление регулирующим органом (РО).

Позиционные регуляторы являются наиболее простыми и удобными, поэтому им отдается предпочтение в случаях, если они удовлетворяют качеству регулирования.

Список использованных источников

1. Якубовская Е.С. Автоматизация технологических процессов / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск : Новое знание : М. ; инфра-М. 2014. – 376 С.

**Руденко В.В. к.т.н., доцент, Мясоедова М.А. к.т.н.**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Курская государственная сельскохозяйственная академия**  
**имени И.И. Иванова», Курск, Россия**  
**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

В сфере электроэнергетики в России наблюдается стремительный рост внедрения цифровых технологий. Правительство РФ раз-

работало программу развития цифровой экономики на 2018-2024 годы, которая успешно реализуется в настоящее время.

Разработка и внедрение цифровых технологий в сфере электроэнергетики связано с изменениями архитектуры и принципов управления энергосистем – централизованная структура управления трансформируется в более гибкую, надежную и одновременно более экономичную распределенную систему.

Потребление электроэнергии стало предсказуемым и управляемым. Появление технологии «интернет вещей» (IoT) послужило толчком к производству дешевых датчиков и средств коммуникации, а также технологии адресации в Интернете позволили обращаться к конкретным устройствам.

Технологии работы с «большими данными» (BigData) обеспечивают высокую точность прогнозирования потребления энергоресурсов, предоставляют информацию о всевозможных параметрах работы энергосистемы, а межмашинные коммуникации позволяют осуществлять управление множеством объектов.

Создание современной технологии SmartGrid (интеллектуальная сеть) позволило напрямую управлять потоками энергии в сетях переменного тока. Активно-адаптивные сети на основе SmartGrid осуществляют автоматизацию питающих линий за счет элементов, активно меняющих свои параметры в зависимости от изменяющегося режима потребления. Важнейшим элементом таких сетей являются интеллектуальные подстанции.

Распределенная генерация вкупе с обязанкой «умными» сетями и созданием микросетей позволяет сделать локальные участки энергосистемы самобалансирующимися и способными обеспечивать энергоснабжение потребителей в случае нарушения энергоснабжения в центральной сети.

Причина столь бурного развития этих технологий в том, что они оказываются выгоднее для общества в целом и для конкретных потребителей в частности. При этом они создают совершенно новые рынки – например, рынок услуг по хранению энергии, которые позволяют всем потребителям участвовать в энергосистеме в совершенно новой роли просьюмеров, интегрировать в энергосистему гораздо большее количество ВИЭ (возобновляемые источники энергии) и делают систему намного более надежной за счет большей гибкости.

Отечественные разработки во многом концентрируются вокруг проекта EnergyNET, в основе которого лежит концепция «Интернета энергии».

Одним из приоритетных проектов «Энерджинет» явилось создание цифрового района электрических сетей (РЭС) с высоким уровнем автоматизации, обеспечивающей "умный" учет электроэнергии и удаленную наблюдаемость в режиме онлайн, а также позволяющей реализовать функции самодиагностики и самовосстановления.

В Курском районе Курской области реализуется первый в регионе проект «Цифровой РЭС». Он предусматривает внедрение системы распределенной автоматизации сети 0,4-10 кВ. Для ее построения на воздушных линиях Курского района уже установлено порядка 100 единиц высокотехнологичного цифрового оборудования. Создано 34 пункта высоковольтного учёта. Также в рамках проекта трансформаторные подстанции Курского района оснащаются интеллектуальными приборами технического учёта электроэнергии. На сегодня установлено уже более 700 таких умных приборов.

Таким образом, будущее электроэнергетики, несомненно, уже наступило. В энергосистемах постепенно утрачивается роль мощных транзитных энергомоств, поскольку вся энергетика становится более распределенной, порождая новые рынки и новых игроков, и самое главное – создает новое, ранее недоступное качество энергосистемы в интересах всех ее участников.

#### Список использованных источников

1. Старченко, А.Г. Интернет энергии: будущее электроэнергетики уже наступило/ А.Г. Старченко, В.В. Дзюбенко, И.Ю. Ряпин – М.: Энергетическая политика №5, 2018. – 102с.

2. Руденко, В.В. Перспективы внедрения цифровых технологий в АПК/ В.В. Руденко, А.А. Маркова. – материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Инновации в научно-техническом обеспечении агропромышленного комплекса России», часть 3 – Курск. – 2020. – 369 с. ISBN:978-5-7369-0801-1

3. Руденко, В.В. Анализ цифровых решений в АПК/ В.В. Руденко, В.В. Савченко. – материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых

ученых «Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса», часть 4 – Курск. – 2020. – 344 с.

**Телеховец К.А., Якубовская Е.С.**  
**УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ МОЛОЧНОГО**  
**ТАКСИ ДЛЯ ВЫПОЙКИ ТЕЛЯТ**

При выращивании высокопродуктивных коров и телят помимо поддержания параметров микроклимата особое значение имеет питание телят [1, с. 301]. Отлучив от коров в возрасте одного месяца, телят переводят на выпаивание молоком либо его заменителем. Во втором случае требуется приготовить заменитель цельного молока, в который можно также добавить витамины. При этом важно также поддерживать оптимальную для выпойки температуру [2]. Продуктивно процесс приготвления смеси и выпойки телят автоматизировать. Для этого используют специальные молочные такси, автоматизация которых имеет некоторые особенности.

При автоматизации молочного такси необходимо учесть, что это мобильная машина. Поэтому питание системы управления и исполнительных механизмов необходимо обеспечивать от аккумулятора. Также необходимо учитывать, что часть оборудования является стационарным (обеспечивает загрузку компонентов при установке такси в определенное положение по месту, а также пастеризацию смеси). Так необходимо контролировать положение такси – датчик ZS (рисунок 1), загрузку смеси и воды (датчики уровня – LS), выдерживать время на смешивание и нагрев, а также сигнализировать о достижении заданной температуры (можно выводить показания на панель оператора). Через панель оператора целесообразно и включать движение такси, а также контролировать и устанавливать заданную дозу выдачи смеси, а также включать выдачу дозы. Также необходимо предусмотреть поддержание заданной температуры смеси по показаниям датчика температуры – ТЕ периодически включая нагреватель. Из исполнительных механизмов также в молочном такси присутствует привод мешалки для смешивания смеси. На схеме автоматизации также показано оборудование для управления

исполнительными механизмами, расположенной на пульте такси и в щите управления, установленного стационарно.

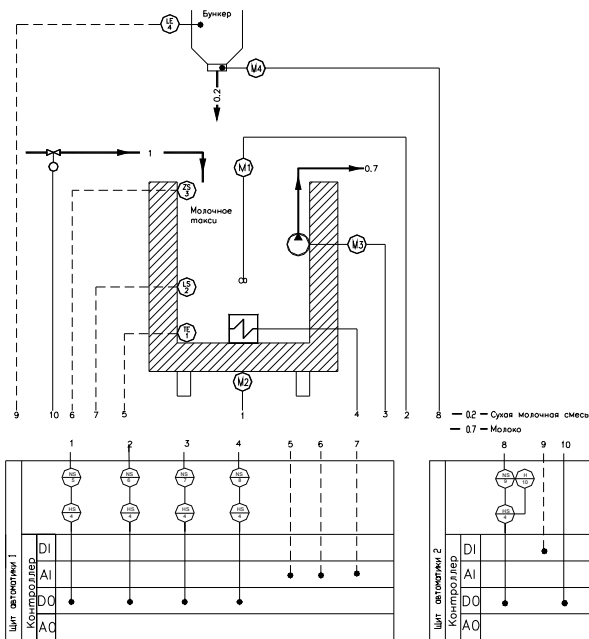


Рисунок 1 – Подрисуночная надпись Подрисуночная надпись

Таким образом, для автоматизации процесса выпойки телят необходимо предусмотреть автономное питание устройства управления и исполнительных механизмов. Устройство управления (контроллер) должен обеспечить контроль процесса приготовления смеси, выдержки до заданной для выпойки температуры и ее поддержание, транспортировку такси, контроль и изменение дозы выпойки.

## Список использованных источников

1. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск : Новое знание, М.: ИНФРА-м, 2015. – 376 с.
2. Молочное такси для телят [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fermilon.ru/hozyajstvo/zhivotnovodstvo/molochnoe-taksi-dlya-telyat.html>. – Дата доступа: 4.11.2021.

**Туров А.В., руководитель учебного центра  
УП «Атава», Минск, Республика Беларусь  
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК**

**1. Автоматизация линии тепличного хозяйства**

В тепличном хозяйстве ОАО «Дорорс» необходимо восстановить систему управления 4-мя линиями выращивания скороспелых культур по технологии «питательного слоя». Обеспечить циркуляцию раствора по заданной программе и движение лотков с растениями по конвейеру.

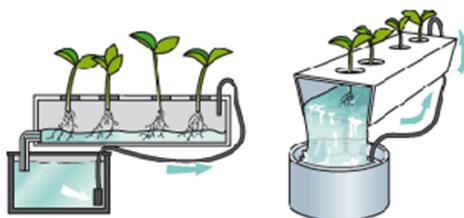


Рисунок 1 Технология «питательный слой».

Одновременно с включением клапана подачи раствора должен включаться электрический насос. Движение лотков по конвейеру обеспечить гидравлическим приводом.

Система управления была выполнена на базе контроллера фирмы WAGO (Германия) и содержит модули дискретного ввода/вывода, магнитные пускатели для включения двигателя, блок реле, блок питания.

Программное обеспечение написано на языке CoDeSys (стандарт МЭК 61131-3) и позволяет управлять гидравлическим приводом движения конвейера и системой полива. С помощью сенсорной панели можно задавать различные режимы работы.

**2. Автоматизация скреперной установки**

**Постановка задачи:** автоматизировать уборку навоза в коровнике с помощью скреперной установки на металлическом тросе.

Для решения задачи был использован контроллер ALPHA фирмы Mitsubishi (Япония). Система управления включает: шкаф автоматики с магнитными пускателями для включения двигателя, кон-

цевые выключатели движения, датчик температуры (переключение «зима-лето»), систему защиты от перегрузок по току. К шкафу может подключаться 3-х фазный асинхронный двигатель мощностью 1–3 кВт.



Рисунок 2 Контроллер ALPHA Mitsubishi Electric.

При перегрузке двигателя (препятствие, заклинивание, наезд на корову) меняется направление движения (7 секунд). После 6 попыток продолжить программу уборки скрепер отключается и подается световой сигнал «АВАРИЯ». В ручном режиме скрепер работает по концевым датчикам.

### **3. АСУ ТП электроустановок**

**Постановка задачи:** на трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ в г. Браслав обеспечить функции телеметрии для удаленной диспетчеризации.

Для решения задачи был разработан шкаф автоматики, который включает: программируемый контроллер WAGO (Германия), модули сорязения, блок реле, блок питания с резервным питанием от аккумулятора.

Первичные преобразователи тока и напряжения на подстанции подключаются к контроллеру по протоколу **Modbus**. Связь с диспетчерским пунктом осуществляется по протоколу **МЭК 60870-5-101/104**.

Обеспечены следующие функции телеметрии:

#### **1. Телесигнализация:**

- контроль положения коммутационных аппаратов (разъединителей, выключатели нагрузки, заземляющих ножей, автоматических выключателей);
- контроль наличия напряжения на кабеле 10 кВ;
- контроль положения дверей.

#### **2. Телеуправление:**

- управление моторными приводами выключателей нагрузки 10 кВ;
- управление автоматическими выключателями на вводах 0,4 кВ.

### 3. Телеизмерение:

- телеизмерения текущих значений токов напряжений и мощностей на шинах секций 0,4 кВ;
- токов на секционном выключателе 0,4 кВ;
- токов на отходящих линиях 10 кВ.

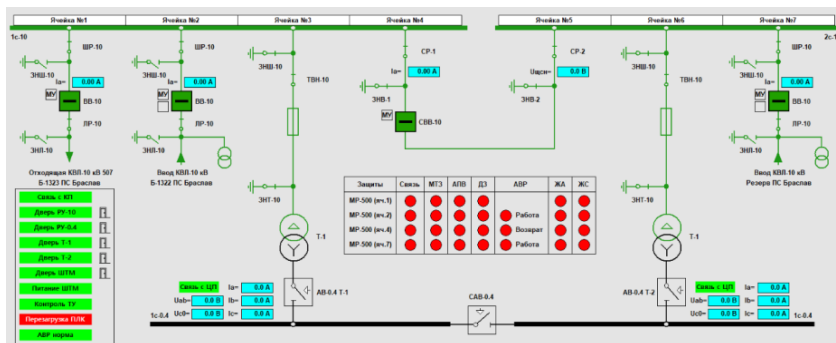


Рисунок 3 Мнемосхема трансформаторной подстанции.

В результате применения современных средств автоматизации удается решить важные задачи энергосбережения: экологическая задача по сохранению природных ресурсов и экономическая задача по снижению себестоимости продукции.

**Ярош В.О., Якубовская Е.С.**

### **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИНИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОМЕТА КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Актуальным вопросом современного производства являются безотходные технологии. В птицеводстве одним из продуктов, который может быть использован в сельском хозяйстве является помет. Но его применение сразу же в чистом виде ограничивается тем, что органика куриного помета содержит болезнетворные микроорганизмы и яйца гельминтов, способна уничтожить населяющих почву полезных насекомых, без которых невозможна регенерация плодородно-



го слоя. Эти недостатки можно устранить высокотемпературной обработкой куриного помета. Поэтому актуально птичники блокировать с линиями переработки помета.

Типовой состав линии переработки помета показан на рисунке 1.

Сырьё подается на «подвижный пол», откуда направляется цепочным (скребковым) транспортером на дисковый сепаратор. В сепараторе от сырья отделяются камни и другие примеси, которые попадают в переносной контейнер, а сырьё самотёком попадает в загрузочную секцию барабанной сушилки. Сюда же подаются продукты горения из теплогенератора и засасывается холодный атмосферный воздух через растопочную трубу. Теплоноситель смешивается с влажным сырьем и засасывается в сушилку. После сушилки измельченное и высушенное сырьё поднимается в потоке теплоносителя к динамическому классификатору. Динамический классификатор, пропускает мелкое и сухое сырьё, а крупные и влажные частицы сырья возвращает, этот процесс повторяется до получения необходимой влажности и степени измельчения сырья. Измельчённое и высушенное сырьё (с этого момента его принято называть мукой) засасывается в циклон за счет разряжения, создаваемого вентилятором. В циклоне мука осаждается за счет центробежной силы и движется вниз. После этого мука подается в пресс-гранулятор для гранулирования (не показан).

Сушка сырья в барабанной сушилке характеризуется высокой температурой. Ее необходимо стабилизировать на заданном уровне. Поддержание заданной температуры теплоносителя можно обеспечить за счет смешивания продуктов горения из топки и атмосферного воздуха. Пропорция смешивания должна регулироваться автоматически. Это обеспечит некоторое энергосбережение.

К энергосбережению приведет также оптимизация загрузки сушилки, а также согласование работы оборудования поточной линии в целом, которой и является линия переработки помета.

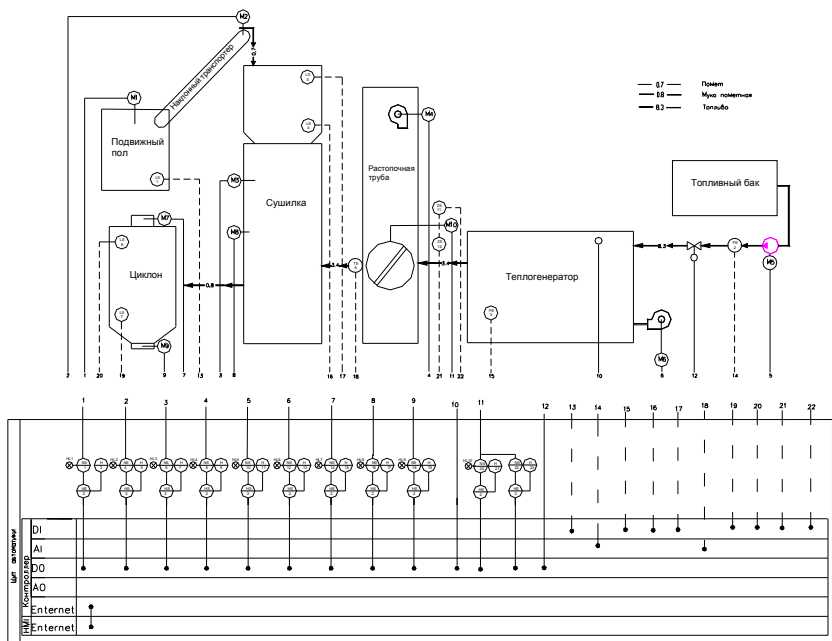


Рисунок 1 – Схема автоматизации линии переработки помета

Таким образом, при автоматизации линии переработки помета необходимо обеспечить поддержание уровня загрузки сушилки, требуемой температуры сушки за счет стабилизации температуры теплоносителя, блокировку включения приводов поточной линии. Энергосбережение при автоматизации линии обеспечивается за счет согласованной работы оборудования и точного поддержания температуры теплоносителя.

#### Список использованных источников

1. Технология производства гранулированных удобрений из влажного измельченного сырья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.ecology-energy.ru/technology/fertilizers\\_production\\_technology/from\\_damp\\_small\\_raw\\_materials](https://www.ecology-energy.ru/technology/fertilizers_production_technology/from_damp_small_raw_materials). – Дата доступа: 4.11.2021

## СЕКЦИЯ 5

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Андрианов В.М., д.ф.-м.н., Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

#### **УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ БОКОВОЙ ЦЕПИ ПРИРОДНЫХ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА ИХ БИОАКТИВНОСТЬ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Брассиностероиды (БС) – класс растительных фитогормонов, проявляющих высокую биологическую активность. Эти соединения, известные своей ростостимулирующей способностью, обратили на себя внимание и как потенциальные анти-канцерогенные фармакологические средства. Однако анти-канцерогенная и цитотоксическая активность БС недостаточно изучена на молекулярном уровне. Известно, что взаимное расположение заместителей углеродного остова боковой цепи является важным фактором биологической активности БС.

Цель работы – установление влияния стереохимической конфигурации заместителя у атома С24 в природных БС, имеющих 22R,23R-диольную структуру в боковой цепи, на конформацию боковой цепи БС и связи биоактивности со структурой боковой цепи.

Согласно различным биотестам самым биологически активным БС является брассинолид, боковая цепь которого содержит 22R,23R-гидроксилы и 24S-метил группу (RRS). В связи с этим представляется целесообразным для исследования связи между структурой боковой цепи и брассинолидной активностью проведение сопоставительного конформационного анализа брассинолида и менее активного БС – природного 24-эпибрассинолида, боковая цепь которого содержит 22R,23R-гидроксилы и 24R-метил группу (RRR).

Локальные минимумы в исследуемых молекулах определялись методом молекулярной механики, а затем уточнялись методом DFT с V3LYP-функционалом и расширенным базисным набором 6-311+G(d,p). Эти расчеты позволили определить семейства низко-

энергетических конформеров и доминирующую конформацию в вакууме для каждой исследуемой молекулы (рис. 1). Однако весьма важным является изучение структуры молекул в естественной среде их взаимодействия с белками, то есть учет растворителя. Такую возможность предоставляет метод молекулярной динамики (МД) с явным заданием свойств растворителя (воды).

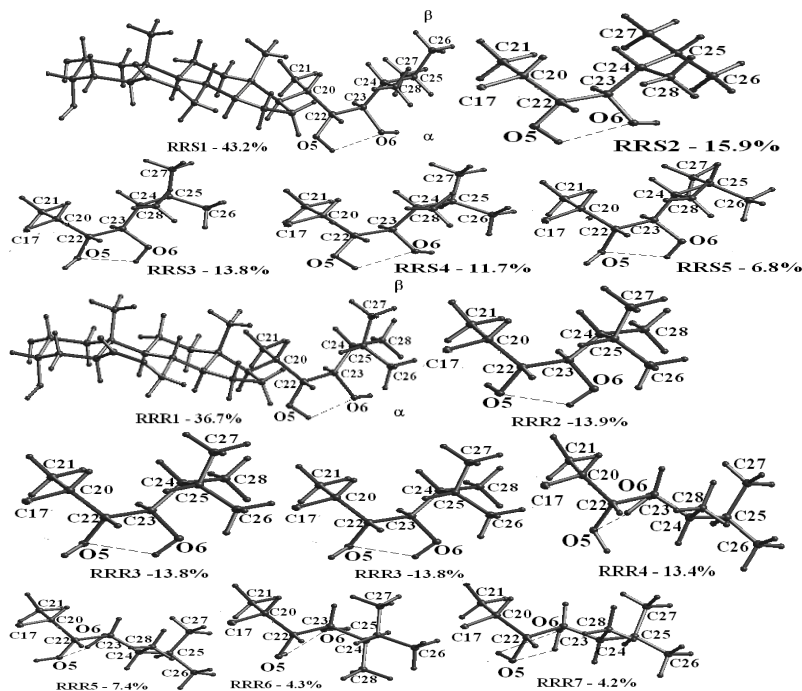
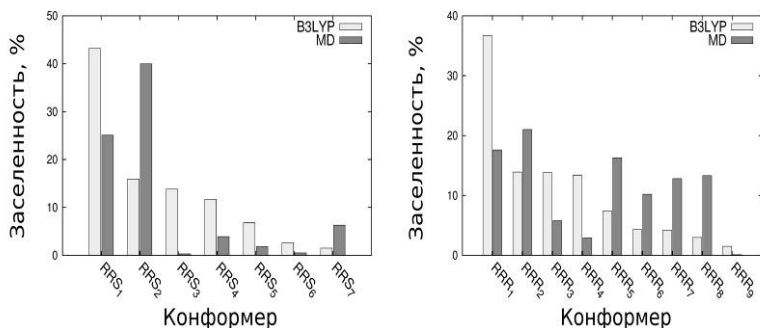


Рисунок 1. Низкоэнергетические конформеры брассинолида (RRS<sub>i</sub>) и 24-эпибрассинолида (RRR<sub>i</sub>) с указанием их относительного содержания в равновесной смеси.

Результаты расчетов методом МД и квантово-химических расчетов представлены на рис.2, из которого видно, что квантово-химические (B3LYP) и МД (в воде) расчеты приводят к наличию одних и тех же низкоэнергетических конформеров в равновесной смеси в пределах каждой молекулы, однако наблюдается перераспределение конформеров этих молекул при использовании двух методов. МД расчеты пока зали, что в равновесной смеси наиболее биоактивной молеку-

лы brassinоида доминируют два конформера, в которых в пределах диольной системы боковой цепи образуется внутримолекулярная водородная связь  $O6...H(O5)$ , а гидроксил  $O6H$  свободен для образования межмолекулярной водородной связи в комплексе БС – рецептор. В менее биоактивной молекуле 24-эпибрасиноида в равновесной смеси присутствуют шесть практически равновероятных конформеров, из которых только в одном образуется внутримолекулярная водородная связь  $O6...H(O5)$  и свободный для образования межмолекулярной водородной связи гидроксил  $O6H$ . Отсюда следует, что конфигурация 22R,23R,24S двух гидроксильных групп боковой цепи брасиноида приводит к структурам боковой цепи, в которых  $OH$  группы могут беспрепятственно участвовать в биохимических процессах в растениях.



**Рисунок 2.** Населенности конформеров  $RRS_i$  молекулы брасиноида и  $RRR_i$  молекулы 24-эпибрасиноида по данным кванто-химических и MD (в воде) расчетов.

Таким образом, применение метода МД с явным заданием свойств растворителя показало, что для молекулы брасиноида в равновесной смеси доля биологически значимых низкоэнергетических конформеров значительно выше, чем для молекулы 24-эпибрасиноида, что и объясняет ее более высокую биоактивность.

**Арабей С.М., д.ф.-м.н., доцент,  
Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент, Круплевич В.Ч.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
Чернявский В.А., к.ф.-м.н., доцент  
Белорусская государственная академия связи,  
Минск, Республика Беларусь**  
**ФОТОПРЕОБРАЗУЮЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ  
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ЗАМЕЩЕННЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ**

Один из видов альтернативной возобновляемой энергии связан с энергией солнечного излучения, которую можно непосредственно преобразовывать в электрическую энергию с помощью солнечных элементов. Солнечная энергетика наряду с другими видами нетрадиционных возобновляемых источников энергии приобретает в мире большую перспективу практического применения. В настоящее время основная часть коммерчески выпускаемых солнечных элементов изготавливается из кремния. Одним из способов повышения эффективности работы кремниевых солнечных элементов является использование в их структуре дополнительных материалов (слоев), способных преобразовать солнечное УФ излучение с  $\lambda < 400$  нм (не поглощается кремнием) в фотолюминесцентное, лежащее на границе видимого и ближнего ИК диапазона (область  $\sim 700\text{--}800$  нм).

В настоящей работе исследованы спектрально-люминесцентные свойства замещенных фталоцианинов (Фц), внедренных в органический полимер – поливинилбутираль (ПВБ). Образцы на основе ПВБ в виде тонких оптически прозрачных пленок, окрашенных Фц, изготовлены методом полива из этанольного раствора выбранного пленкообразующего полимера на стеклянную подложку. Толщина высушенных окрашенных ПВБ-пленок составляла 100–500 мкм. В качестве примесей ПВБ выбраны Фц-ны с периферийными объемными заместителями, которые увеличивают их растворимость в полимере: тетра(3-фенилтио)фталоцианин алюминия гидроксид ( $(3\text{-(PhS)}_4\text{-ФцAlOH)}$ ) и 1,4,8,11,15,18,22,25-окта(*n*-бутоксифталоцианин ( $((\text{O}^i\text{Bu})_8\text{-H}_2\text{Фц})$ ). Их структуры изображены на вставках рисунков 1 и 2.

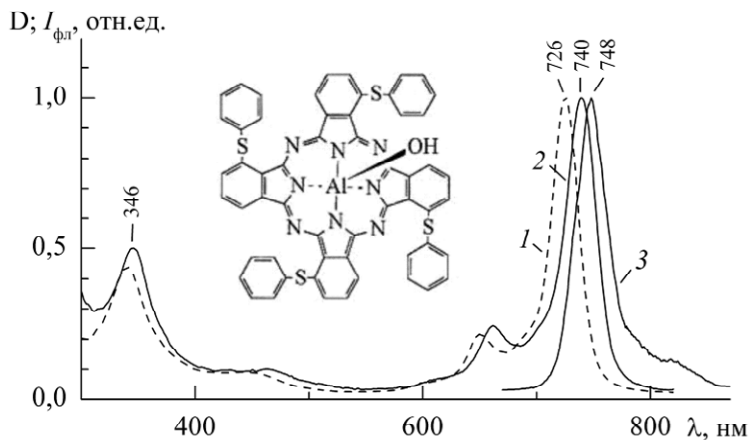


Рисунок 1 – Спектры поглощения (1, 2) и флуоресценции (3) при  $\lambda_{\text{возб}} = 346$  нм 3-(PhS)<sub>4</sub>-ФцАlOH в этаноле (1) и ПVB (2, 3) при 293 К

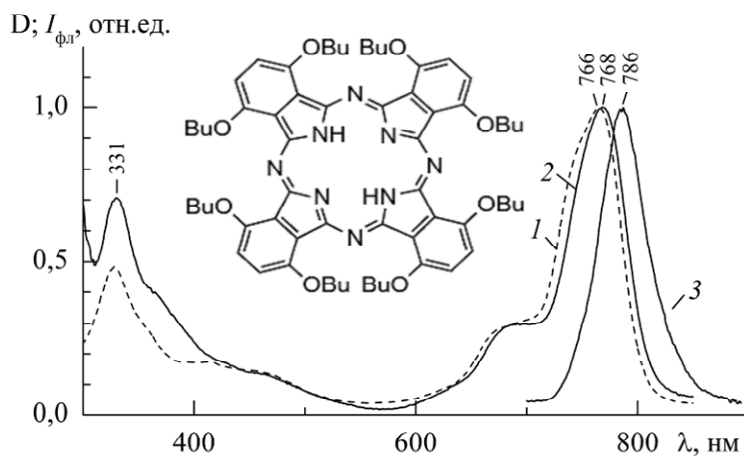


Рисунок 2 – Спектры поглощения (1, 2) и флуоресценции (3) при  $\lambda_{\text{возб}} = 330$  нм (OBu)<sub>8</sub>-H<sub>2</sub>Фц в этаноле (1) и ПVB (2, 3) при 293 К

На рисунках 1 и 2 изображены спектры поглощения (кривые 1 и 2) и флуоресценции (кривые 3) исследованных Фц-ов в этаноле

(кривые 1) и ПВБ (кривые 2 и 3). Как видно, полосы поглощения в этаноле и ПВБ лежат в коротковолновой (300–400 нм) и длинноволновой (700–800 нм) областях спектров. Длинноволновые полосы поглощения, соответствующие  $S_1 \leftarrow S_0$ -переходу, зеркально симметричны  $S_1 \rightarrow S_0$ -полосам флуоресценции, свидетельствуя о том, что излучение реализуется с  $S_1$ -состояния. При возбуждении в коротковолновую полосу происходит быстрый безызлучательный  $S_n \rightarrow S_1$ -переход, т.е. осуществляется трансформация поглощенной УФ-радиации в ИК-излучение. Для фототрансформирующих слоев выбранные Фц-ны имеют преимущество и в том, что в видимом диапазоне спектра (область 400–700 нм) практически отсутствуют полосы их собственного поглощения, уменьшая тем самым конкуренцию с поглощением кремния – рабочего вещества солнечного элемента.

Важно отметить, что 3-(PhS)<sub>4</sub>-ФцAlOH исследовался в составе солнечной ячейки [1], как компонент адсорбированный на нанокристаллическом TiO<sub>2</sub> пленочном электроде, обеспечивающий sensibilization фотоиндуцированного переноса электронов в ближней ИК области. Этот же краситель ближнего ИК диапазона использован в качестве компонента многопереходных полимерных солнечных элементов [2]. Есть основания полагать, что исследованные замещенные фталоцианины могут найти применение в структуре солнечной кремниевой ячейки в виде допанта органического полимера (дополнительного слоя), преобразующего УФ излучение в излучение ближнего ИК диапазона.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (договор №Ф21МС-017).

#### Список использованных источников.

1. Komori, T. Dye-sensitized solar cell with the near-infrared sensitization of aluminum phthalocyanine / T. Komori, Y. Amao // JPP – 2003. – Vol. 7, No 2. – P. 131–136.
2. Multi-junction Polymer Solar Cells / A. Anctil [et all.] // 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference: (PVSC 2009); Philadelphia, Pennsylvania, USA, 7–12 June 2009, 2009. – P. 1344–1348.



**Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А.<sup>1</sup>,  
Скрипко А.Н.<sup>1</sup>, к.т.н., Х. Абдулхаев<sup>2</sup>, к.т.н., доцент**  
**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет», Минск, Республика Беларусь**  
**<sup>2</sup>Узбекский Научно-исследовательский институт**  
**механизации сельского хозяйства, Намаган, Узбекистан**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ**  
**ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**  
**С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗАПОЛНЕНИЯ**

В условиях засушливого климата и ограниченных водных ресурсов, в песчаных и вечномерзлых грунтах, с высоким удельным сопротивлением растеканию тока при проектировании и монтаже заземляющих устройств исследования [1-2] рекомендуют использовать ряд технических решений, которыми могут быть обработка грунта веществами неагрессивными к материалу заземлителя, с целью снижения сопротивления грунта в околоэлектродном пространстве а так же применение электролитических заземлителей.

При использовании электролитов можно достигнуть значительного снижения удельного сопротивления грунта, однако такая система может работать только при достаточной влажности грунта и требует периодического обслуживания и пополнения внутреннего объема электрода [3]. Для решения этой задачи, при монтаже электролитического заземлителя грунт вокруг электрода можно заменить специальным составом, который обеспечит повышенную влажность, а значит, лучшую диффузию солей и более высокую эффективность либо предусмотреть принудительное увлажнение грунта в местах заложения заземления [3].

Для проведения исследований было смонтировано несколько электролитических заземлителей с различными видами заполнения электрода и различными грунтозамещающими смесями: электрод №1 – по технологии производителя; электрод №2 – с сухим электролитическим наполнителем производителя и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей; электрод №3 – с увлажненным электролитическим наполнителем без приэлектродной засыпки; электрод №4 – с увлажненным электролитическим наполнителем и с увлажненной приэлектродной засыпкой на основе гидрогелей; электрод №5 – контрольный электрод, состоящий из трех

оцинкованных вертикальных составных заземлителей, длиной 1 метр, соединенных полосой 4x10 мм длиной 3 метра, расположенных по контуру.

Для измерения сопротивления заземления в случае растекания токов низкой частоты использовалась 4-х электродная схема с расположением вспомогательных электродов, изображенная на рисунке 1.

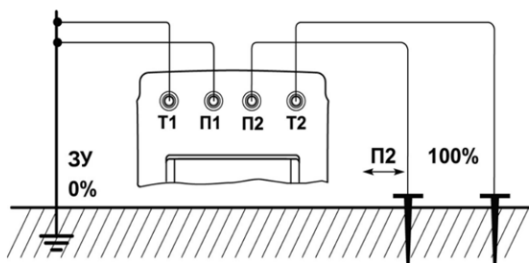


Рисунок 1 – Схема измерения сопротивления заземления экспериментальных электродов при помощи ИС-10.

Первые измерения сопротивления были произведены непосредственно после монтажа электродов. Таблица 1 показывает, сопротивление заземления непосредственно после монтажа и по истечении 30 дней (устоявшийся грунт).

Таблица 1 – Результаты измерения сопротивлений заземления непосредственно после монтажа электродов и через 30 дней, Ом.

|                  | Электрод<br>1 | Электрод<br>2 | Электрод<br>3 | Электрод<br>4 | Контрольный |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| После<br>монтажа | 47,9          | 42,3          | 48            | 40            | 211         |
| Через 30<br>дней | 27,5          | 36,2          | 37,5          | 17,4          | 204         |

Сопротивление заземления образцов №3 и №4, уже первоначально было более на 10–15 % выше, чем у электрода 1 но при усадке грунта уменьшилось на 40–50 %, что обусловлено технологией монтажа, а именно искусственным увлажнением приэлектродной засыпки перед монтажом с последующей диффузией солевого раствора из электрода в грунт. Сопротивление заземления образца №2 снизилось почти в 3 раза течение первых 30 суток, Что соответ-

ствуется ранее известным исследованиям по применению смесей для оптимизации заземления. Сопротивление контрольного контура заземления изменилось в диапазоне 3%, что может быть обусловлено колебаниями влажности грунта.

Исследования показали, что сопротивление электролитических заземлителей слабо реагирует на изменение погодных условий, что является положительным качеством электролитических заземляющих устройств. Исследование электролитического электрода в сочетании с грунтозамещающей смесью подтверждает, что его эффективность выше, чем без применения смесей для оптимизации заземления и открывает возможность использования таких систем в регионах с сухой, песчаной почвой, с высоким удельным сопротивлением, что особенно актуально при строительстве систем заземления для Узбекистана и южных регионов РБ.

#### Список использованных источников

1. Демин В.И., Пашинян Л.А. Анализ конструктивных особенностей электролитических заземлителей. Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 3. С. 44–48.

2. С.М. Барайшук, И.А. Павлович, М.Х. Муродов, Х. Абдулхаев, А.Н. Скрипко Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками // Агропанорама.– 2021. – №5(147).– С. 28–33.

3. Драко М.А., Барайшук С.М., Павлович И.А. О разработке смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила для уменьшения удельного электрического сопротивления грунта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 23 (1), 80–92.

4. Барайшук С.М., Павлович И.А., Кахоцкий М.И. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта // Междуронадний научнопрактический журнал «ЭПОХА НАУКИ». – 2020. – №24 (2020). – С. 87–93.

**Барайшук С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Хуан Х.Л.<sup>2</sup>, магистр физики, директор**

**<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск**

**<sup>2</sup>Чжоньданский педагогический университет, Чжоньдан, КНР  
МОДИФИКАЦИЯ СМАЧИВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СЕНСОРОВ**

Оптические методы анализа включают в себя абсорбционные и эмиссионные методы. Абсорбционные методы анализа основаны на способности веществ избирательно поглощать лучистую энергию в характерных участках спектрального диапазона. Для построения газовых сенсоров работающих на изменении оптических свойств очень важной является задача разработки прозрачных для заданного диапазона излучения покрытий обладающих гидрофобными свойствами и заданной шероховатостью [1-2]. В работе были проведены измерения краевых углов смачивания поверхности керамических подложек для сенсорных элементов с нанесенными покрытиями  $\text{In}_2\text{O}_3$  пленки были получены с помощью термического окисления тонких пленок индия, сформированном методом магнетронного распыления. Напыление проводили при ускоряющем напряжении 3 кВ. И проведено математическое моделирование изображения контура сидячей капли которое получены на ранее описанной установке [3], с использованием математического пакета Maple, что позволило автоматизировать процесс измерений.

Непосредственные измерения смачиваемости осуществляли при 20 °С и влажности 80 %. Вначале специальным устройством размещают каплю на исследуемой поверхности. Изображение сохраняется в формате RAW (рис. 1).

**Результаты и обсуждение.** В данной работе для определения контура капли применяли групповые фильтры и специально разработанную программу Angle, которая фильтрует изображение системы капля – подложка – воздух таким образом, чтобы выделенной оказалась газовая фаза и изображение системы оказалось спроецировано на плоскость (рис. 1).

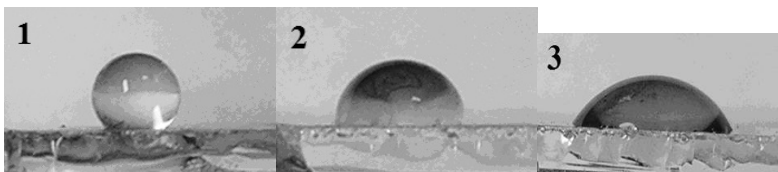


Рисунок 1. Изображение капли на поверхности без покрытия и с покрытием толщиной 500 и 250 нм соответственно.

Для нахождения краевых углов смачивания моделировали контур капли функцией второго порядка. Для этого, на обработанном групповыми фильтрами изображении с установленной границей раздела жидкость-газ выбираем 6 произвольных точек в каждом изображении. Выборкой 4 из 6 строятся уравнения эллипса, которые укладываются на эти точки. Все полученные уравнения усредняем. Проведя анализ изображений капли и математическое моделирование контура капли и краевых углов по результатам прямых измерений позволяют получить погрешность не превышающую 1 %.

Таблица 1 – Параметры смачиваемости образцов

| Толщина покрытия, нм | 0    | 750   | 500  | 250  |
|----------------------|------|-------|------|------|
|                      | 34,6 | 129,9 | 93,2 | 68,7 |

Моделирование проекции поверхности капли дает результаты близкие к результатам прямых измерений, и показывает, что нанесение покрытия  $\text{In}_2\text{O}_3$  делает поверхность более лиофильной при росте толщины покрытия, что негативно сказывается на сенсорных характеристиках элементов. Таким образом необходимо добиться минимальной толщины покрытия пригодной для детектирования во избежания потерь оптического излучения при работе в средах с высокой влажностью. Еще одним из вариантов использования указанных пленок в качестве сенсорных элементов без потери качества является вформирование структуры, поверхности влияющей на улучшение гидрофобных свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211250.

#### Список использованных источников

1. Kwok X.D. Tian Y. Peng X.F. /Selfaggregation of vapor-liquid phase transition // J. Prog. in Nat.Science. – 2003. – 13. – p. 451–456.

2. А.М. Гуляев, Ле Ван Ван, О.Б. Сарач, О.Б. Мухина / О воздействие оптического излучения на чувствительность газовых сенсоров на основе пленок SnO<sub>2</sub> // Физика и техника полупроводников, 2008, Том 42. Вып. 6. С. 742–746.

3. Изучение смачиваемости твердых тел методом математического моделирования контактных углов // С.М. Барайшук, О.Г. Бобрович, ХХ Лиин – Вестник науки и образования, 2016.

4. Автоматизированный комплекс для измерения равновесного краевого угла смачивания на плоских поверхностях /Патент РБ 7074 по заявке 20100661, от 12.10.2010 //Е.П. Макарович, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, М.А. Андреев.

**Будзински М.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., Вальков В.И.<sup>2</sup>, д.ф.-м.н.,  
Головчан А.В.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Митюк В.И.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н.,  
Римский Г.С.<sup>3</sup>, Суровец З.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., Барайшук С.М.<sup>4</sup>,  
к.ф.-м.н., доцент, Ткаченко Т.М.<sup>4</sup>, к.ф.-м.н., доцент.**

**<sup>1</sup>Институт Физики, Университет М. Кюри-Склодовской,  
Люблин, Польша.**

**<sup>2</sup>Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина,  
Донецк.**

**<sup>3</sup>ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск,  
Беларусь.**

**<sup>4</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ СОСТАВА  
MnNiFeGe.**

В настоящее время твердые растворы на основе MnNiFeGe рассматривают как весьма перспективные магнитокалорические материалы для использования в магнитных холодильниках [1]. Магнитные свойства MnNiFeGe варьируются в зависимости от технологии получения (легировании, специальной термообработке, наложении давления и др.), и макросостояния сплава – пленочного или массивного, а свойства пленок на основе MnNiFeGe практически не изучались. Таким образом, существует актуальная задача сравнения магнитных свойств сплавов MnFeNiGe в объемном и пленочном

состояниях. В рамках общей задачи, была начата работа по исследованию микроструктуры и магнитных свойств пленок составов  $Mn_{1-x}Fe_xNiGe$  (где  $x$  принимает значения 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 и 0,30) для последующего сравнения этих данных с аналогичными данными на объемных образцах такого же состава. Получение пленок проводилось методом «вспышки» [2]. Проведены электронно-микроскопические исследования структуры поверхности пленок, а также исследование поверхности методом сканирующей зондовой микроскопии, примеры типичных результатов асм, для площадок размером  $20 \times 20 \mu m^2$  представлены на рис.1. Как видно на рисунках, на поверхности образцов формируются регулярные неоднородности, а также более крупные неоднородности, размером в длину от 2 до 15  $\mu m$  и толщиной от 10 до 700 нм.

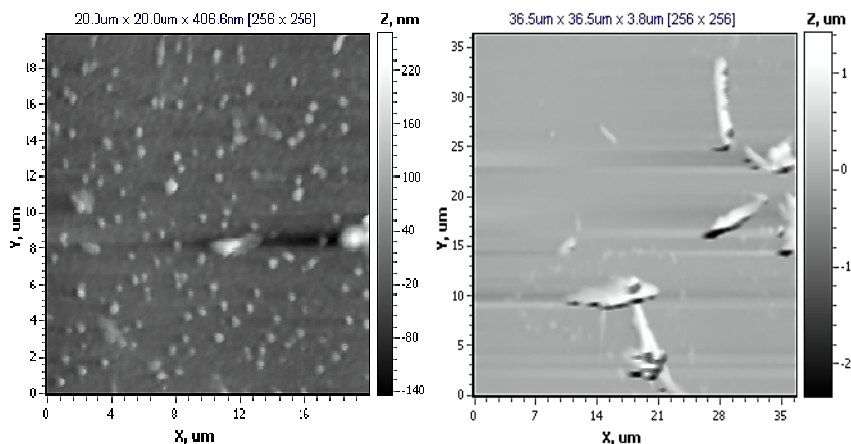


Рисунок 1 – АСМ изображение поверхности образцов  $Mn_{0,09}Fe_{0,1}NiGe$  и  $Mn_{0,85}Fe_{0,15}NiGe$  соответственно.

Продолговатые новообразования в виде игл определяются как методом АСМ, так и методом СЭМ, рисунок 2.

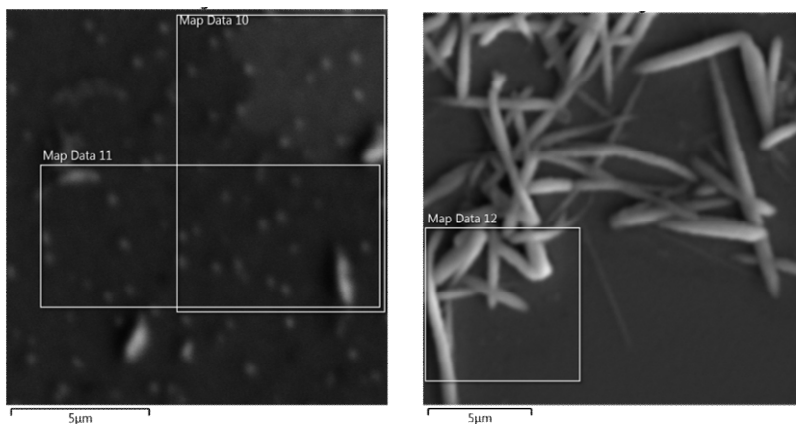


Рисунок 2 – Изображения полученные методом СЭМ для образцов  $\text{Mn}_{0,09}\text{Fe}_{0,1}\text{NiGe}$  и  $\text{Mn}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{NiGe}$  соответственно.

Результаты АСМ микроскопии показывают достаточно высокое качество поверхности, с шероховатостью не превышающей 33 нм по площадке  $20 \times 20 \text{ мкм}^2$ , для всех систем. На поверхностях всех пленок идентифицируются регулярные неровности размером округлой формы диаметром от 0,2 мкм до 0,4 мкм и высотой от 0,05 до 0,2 мкм, концентрация которых приведена в таблице 1. Только в пленке состава  $\text{Mn}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{NiGe}$  на поверхности идентифицируются микроструктурные новообразования в виде игл.

Таблица 1 – Характеристики поверхности структур  $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{NiGe}$

| Образец                                       | Средняя шероховатость, нм | Типичные неоднородности, мкм | Концентрация неровностей $\text{мкм}^{-2}$ |
|-----------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| $\text{Mn}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{NiGe}$ | 21,6                      | 0,8x0,8                      | 0,6                                        |
| $\text{Mn}_{0,09}\text{Fe}_{0,1}\text{NiGe}$  | 18,2                      | 0,4x0,2                      | 0,7                                        |
| $\text{Mn}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{NiGe}$ | 160,8                     | 12x0,7                       | 0,01                                       |
| $\text{Mn}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{NiGe}$   | 32,7                      | —                            | 0,01                                       |
| $\text{Mn}_{0,75}\text{Fe}_{0,25}\text{NiGe}$ | 25,3                      | 0,5x0,2                      | 0,25                                       |
| $\text{Mn}_{0,7}\text{Fe}_{0,3}\text{NiGe}$   | 35,7                      | 0,2x0,05                     | 0,5                                        |

Как видно, в случае возникновения микроразмерных игл на поверхности можно утверждать, что количество и размер более мелких неоднородностей на поверхности значительно сокращается (до 50 раз). Можно предположить, что в  $\text{Mn}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{NiGe}$  происходит



слияние элементарных на поверхности и формирование микроструктурных игл.

Таким образом, важным результатом сравнения объемных и пленочных образцов стало обнаружение металлических игл на поверхности пленки состава  $\text{Mn}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{NiGe}$ . Предполагается продолжение исследования в данном направлении.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ и РФФИ в рамках научного проекта №Т20Р-204 и № 20-58-00059, соответственно.

#### Список использованных источников

1. Val'kov, V.I. Features of the formation of magnetocaloric phenomena in the systems  $\text{Mn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{As}$  and  $\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{NiGe}$  / V.I. Val'kov, I.F. Grigbanov, B.M. Todris, A.V. Golovchan, V.I. Mitsiuk // Physics of the Solid State. – 2018. – № 6. – P. 1113–1121.

2. Патент ВУ 2901, 2006. Галяс А.И., Ткаченко Т.М. «Устройство порционной подачи порошка в установке вакуумного напыления пленок по методу вспышки».

**Будзинский П.<sup>1</sup>, д.т.н., Будзинский М.<sup>2</sup>, д.ф.-м.н.,  
Барайшук С.М.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Виертел М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н.,  
Митюк В.И.<sup>4</sup>, к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник, Суровец З.<sup>2</sup>,  
д.ф.-м.н., Ткаченко Т.М.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Головчан А.В.<sup>5</sup>,  
к.ф.-м.н., доцент.**

<sup>1</sup>Люблинский Технический университет. 38D Люблин,  
Польша

<sup>2</sup>Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской.  
1 пл. М. Кюри-Склодовской,  
Люблин, Польша

<sup>3</sup>Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Беларусь

<sup>4</sup>НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск

<sup>5</sup>Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина,  
Донецк

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА СВОЙСТВА НЕОДИМОВЫХ МАГНИТОВ**

В настоящее время налажено коммерческое производство магнитов на основе фазы  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  с максимальной на сегодняшний день

величиной энергетического произведения  $\sim 400 \text{ кДж/м}^3$  и более [1-3]. С момента открытия, магнитные и структурные свойства фазы  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  достаточно хорошо изучены, одновременно развит ряд технологий получения магнитов на такой основе, но практическая эксплуатация затрудняется такими серьезными недостатками магнитов, как хрупкость и низкая коррозионная стойкость. Наиболее распространенным способом защиты поверхности неодимовых магнитов от коррозионных воздействий является нанесение разнообразных защитных покрытий или введением добавок, повышающих коррозионную стойкость, однако изучение коррозионных процессов и их влияния на структуру и свойства  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  непокрытых магнитов по-прежнему является актуальным. Потому нами была проведена работа, направленная на сравнительное изучение влияния водных растворов соли, кислоты и щелочи на магнитные и механические свойства цилиндрических магнитов  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  и нахождение возможных корреляций между изменением магнитных и механических свойств.

На основе  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  получены цилиндрические магниты ( $\varnothing=22 \text{ мм}$ ,  $h=9 \text{ мм}$  и  $\varnothing=15 \text{ мм}$ ,  $h=10 \text{ мм}$ ). Проведенные рентгенофазовый анализ и мессбауэровские исследования на  $^{57}\text{Fe}$  выявили в составе основную тетрагональную фазу  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  и – в небольшом количестве – наличие примесей  $\text{NdO}$  и  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ . Такой состав характерен для магнитов, полученных технологиями порошковой металлургии. Структура магнита представляла собой хорошо ориентированные ферромагнитные зерна основной фазы размером  $\sim 0,8\text{--}1,2 \text{ мкм}$ . Материал примесных фаз равномерно распределен по объему магнита по границам зерен. Исходный образец имел намагниченность насыщения  $\sim 165 \text{ кА/м}$ .

Затем образцы магнита подверглись различной обработке в агрессивных средах, характер и реагент обработок указан в таблице 1.

Образцы для испытаний механических свойств были изготовлены в форме дисков, срезанных с обработанных цилиндрических магнитов перпендикулярно оси. Поверхность образцов была механически отполирована до состояния с шероховатостью  $R_a=0,08 \text{ мкм}$  по площадке  $100 \text{ мкм}^2$  ( $R_a$  – параметр, определяющий среднеарифметическое значение отклонения профиля).

Таблица 1. Характеристика образцов  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

| Обра-<br>зец | Реагент<br>обработки | Концен-<br>трация<br>водного<br>раствора | Время вы-<br>держки об-<br>разца в<br>среде, час | Средняя шероховатость<br>образцов по<br>площадке<br>100 $\text{мкм}^2$ , нм |
|--------------|----------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1            | необработанный       | —                                        | —                                                | 82                                                                          |
| 1cor         | КОН                  | 0.5 М/л                                  | 384                                              | 147                                                                         |
| 2cor         | $\text{HClO}_4$      | 0.5 М/л                                  | 384                                              | 53                                                                          |
| 3cor         | $\text{NaCl}$        | 3 вес. %                                 | 384                                              | 67                                                                          |

На рисунке 1 приведены сравнительные результаты измерений коэффициента трения исходного образца (1) и образцов, обработанных в различных средах (1cor, 2cor, 3cor). Измерения проводились в одинаковых условиях с использованием шара из карбида вольфрама (WC) диаметром 1 мм. Измерения показали, что, после обработки агрессивными средами, у всех образцов изначально коэффициент трения относительно карбида вольфрама выше, чем у исходного образца. Для необработанного образца коэффициент трения магнита относительно шара из WC составляет  $\sim 0,18$ , для обработанных солью и кислотой (2cor, 3cor) коэффициенты имеют примерно одинаковое значение  $\sim 0,41$ ; для обработанного щелочью образца 1cor коэффициент составляет  $\sim 0,9$ .

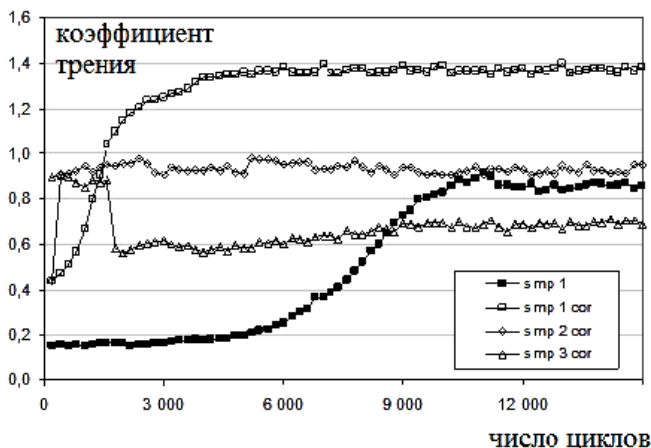


Рисунок 1. Коэффициенты трения образцов  $\text{NdFeB}$  относительно шара WC до (sm1) и после обработки водными растворами щелочи (sm1cor), кислоты (sm2cor) и соли (sm3cor).

Для наблюдения изменений поверхности образцов были проведены AFS-исследования (бесконтактный режим), характерные 3D изображения представлены на рис. 2. Для оценки шероховатости поверхности было выбрано не менее 5 площадок размером  $\sim 10 \times 10$  мкм<sup>2</sup>, просканированных с разных участков поверхности, что позволило проводить усреднение параметров рельефа.

На поверхности исходного материала видны характерные следы полировки (2a), при этом средняя шероховатость исследуемых площадок размером составляла  $Ra=82$  нм. После обработки картина поверхности меняется (рисунок 2b,c,d) в частности, меняется шероховатость образцов до значений, указанных в таблице 1. На поверхности, помимо характерных следов полировки материала, появляются также неоднородности в 2,3–3,2 раза превышающие по высоте основной рельеф. Для образцов, обработанных щелочью (рис. 2b), видны одиночные элементы округлой формы диаметром 0,2–0,3 мкм высотой до 18 нм, концентрация которых в среднем  $3,2$  мкм<sup>-2</sup>.

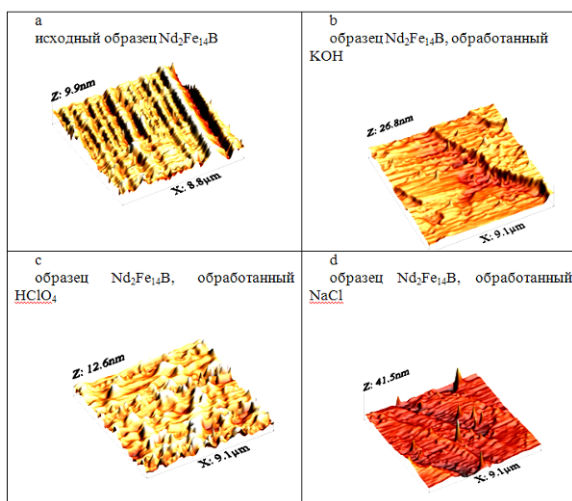


Рисунок 2. Топография поверхности образцов.

Появление этих образований приводит к увеличению шероховатости поверхности до 147 нм. Обработка раствором кислоты (рис. 2c) приводит к деградации структуры поверхности в целом и образованию пологих структур размером 0,5–0,8 мкм

высотой порядка 13 нм, что может быть обусловлено «растворением» близлежащих областей и приводит к уменьшению средней шероховатости до 53 нм. Обработка раствором соли (рис. 2d) приводит к аналогичным результатам, однако на поверхности становятся заметны одиночные каплеобразные образования размером 0,2–0,4 мкм в поперечнике и средней высотой 36 нм в количестве  $0,15 \text{ мкм}^{-2}$  и изменением шероховатости до 67 нм для площадок  $100 \text{ мкм}^2$ . Из-за высокой шероховатости поверхности образцов сложно точно определить величину износа, однако предварительные данные указывают на уменьшение износа всех обработанных образцов. В случае обработки водным раствором щелочи образование гидроксида наиболее вероятно, что отражается в наибольшей, из трех образцов, шероховатости поверхности образца, обработанного водным раствором щелочи и наибольшем для него росте коэффициента трения.

По результатам рентгенографических, мессбауэровских, ASM-исследований, а также изучения механических свойств неодимовых магнитов цилиндрической формы проведено сравнение экспериментальных характеристик до и после обработки магнитов водными растворами щелочи КОН, кислоты  $\text{HClO}_4$  и соли NaCl. Обнаружено, что наиболее заметный эффект на механические свойства неодимового магнита (наибольший рост коэффициента трения и шероховатости поверхности) оказывает водный раствор щелочи. В то же время, наиболее ощутимое ухудшение магнитных свойств неодимового магнита вызывается воздействием водного раствора соли.

Авторы выражают благодарность А.К. Богушу (ОПРУП "Феррит") за предоставленные образцы, а также V. Constantin, E.I. Neacsu, C. Donath и A.M. Popescu (Romanian Academy, "Ilie Murgulescu" Institute of Physical Chemistry, Department of Molten Salts) за проведение коррозионной обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ и РФФИ в рамках научного проекта №T20P-204 и № 20-58-00059, соответственно.

#### Список использованных источников.

1. J.F. Herbst, J.J. Croat, F.E. Pinkerton, W.B. Yelon. Relationships between crystal structure and magnetic properties in  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  // Phys. Rev. B. 1984. V. 29. P. 4176–4178.

2. M. Sagawa, S. Fujimura, N. Togawa, H. Yamamoto and Y. Matsuura. New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe // J. Appl. Phys. 1984. V.66(6). P. 2083–2087. DOI: 10.1063/1.333572.

3. D. Givord, H.S. Li, J.M. Moreau. Magnetic properties and crystal structure of Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B // Solid State Communications. 1984. V. 50, Issue 6. P. 497–499.

**Бускис К.П.**

**ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск,**

**Республика Беларусь**

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ (МОК) В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В 90-х годах прошлого века был получен новый тип соединений состоящих из ионов металлов, координированных между собой с помощью мостиковых органических лигандов (атомы, ионы или молекулы, связанные с неким центром – акцептором). Эти соединения получили название «металл-органические каркасы», или же МОК (от англ. metal-organic frameworks – MOF).

По сути, МОК можно назвать органическим цеолитом. Однако, они имеют намного больше вариаций своего строения, чем цеолиты. Также МОК имеют более привлекательные параметры структуры. Например, их удельная поверхность может достигать 5000–10000 м<sup>2</sup>/г, а объём пор – 2–3 см<sup>3</sup>/г, для цеолитов эти же величины составляют 500–600 м<sup>2</sup>/г, 0.3–0.4 см<sup>3</sup>/г. Эти характеристики открывают множество вариантов их применения в будущем.

МОК представляют собой новый класс пористых материалов. Благодаря огромной вариативности в выборе исходных компонентов они характеризуются огромным разнообразием возможных структур, что позволяет исследователям создавать материалы с необходимыми свойствами. Для синтеза этих структур применяются как традиционные методы (с применением растворителя), так и нетрадиционные. В результате синтеза можно получать одно-, двух- и трёхмерные структуры с различными размерами пор, величину которых можно варьировать путём подбора органических лигандов, или же линкеров [1].

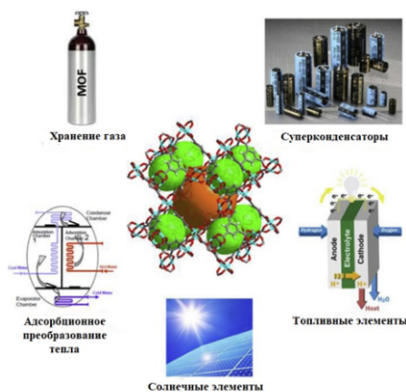


Рисунок 1 – Потенциальные направления применения МОК в сфере энергетики [2]

В настоящее время учёные многих стран ведут активные исследования свойств металл-органических каркасов, что позволяет найти применение в различных отраслях, одной из которых является и энергетика. Наиболее перспективными направлениями является применение МОК в солнечных панелях, для реакции выделения водорода и для хранения газов (рисунок 1).

В солнечных панелях металл-органические каркасы не могут соперничать с существующими в настоящее время солнечными элементами в эффективности преобразования. Однако, применение МОК в солнечных элементах позволяет увеличить их КПД. Например, применение MIL-125 в качестве композита с  $\text{TiO}_2$  позволило увеличить КПД с 2,5 % для чистого  $\text{TiO}_2$  до 6,4% для композитного соединения при введении 3 % MIL-125 в  $\text{TiO}_2$  [3]. На данный момент результаты исследований показывают, что МОК не могут также эффективно, как солнечные элементы, преобразовывать тепло, но могут повысить их эффективность в виде композитного соединения.

В области водородной энергетики МОК используется для выделения водорода в ходе реакции расщепления воды. Существует три подхода к применению металл-органических каркасов в сфере водородной энергетики:

1. прямое включение фотосенсибилизатора в каркас;
2. адсорбция фотосенсибилизатора в порах МОК;
3. использование МОК в качестве предшественника для синтеза композиционного материала для электрода.

Преимуществом использования металл-органических каркасов является их более низкая стоимость по сравнению с традиционным оборудованием для фотокатализа, а также возможность работать при облучении видимым светом [4].

В большинстве своём МОК имеют сверхвысокую пористость, что является очень привлекательным параметром для хранения газов. Все впервые синтезированные МОК проверяются на гравиметрические и объёмные показатели с помощью экспериментов по адсорбции под высоким давлением с водородом и метаном. Наилучшим вариантом для хранения метана на данный момент является DUT-49, имеющий избыточную адсорбцию 308 мг на 1 г МОК при давлении 110 бар и температуре 298 К. В случае криогенного хранения водорода, наилучшим выбором является NU-100 с избыточной адсорбцией 99,5 мг на 1 г МОК при давлении 56 Бар и температуре 77 К. Однако, есть несколько факторов, ограничивающих применение МОК в данной области – дорогая цена на материалы МОК и их плохая теплопроводность. Проблему теплопроводности можно решить с помощью применения сложных систем управления теплом [5].

Подводя итог, можно сказать, что металл-органические каркасы имеют хороший потенциал для применения в сфере энергетики.

#### Список использованных источников

1. Synthetic strategies, structure patterns, and emerging properties in the chemistry of modular porous solids / O.M. Yaghi [и др.] // *Accounts of Chemical Research*. – 1998. – Т. 31, № 8. – С. 474–484.
2. Bon, V. Metal-organic frameworks for energy-related applications / V. Bon // *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. – 2017. – № 4. – С. 44–49.
3. The first depleted heterojunction TiO<sub>2</sub>-MOF-based solar cell / A.M. Vinogradov [и др.] // *Chemical Communications*. – 2014. – № 71. – С. 10210–10213.
4. A dye-like ligand-based metal-organic framework for efficient photocatalytic hydrogen production from aqueous solution / X. Sun [и др.] // *Catalysis Science & Technology*. – 2016. – № 11. – С. 3840–3844
5. Li, S-L. Metal-organic frameworks as platforms for clean energy / Shun-Li Li, Qiqang Xu // *Energy & Environmental Science*. – 2013. – № 6. – С. 1656–1683.



**Вертель М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., Барайшук С.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент**  
**<sup>1</sup>Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской,**  
**Люблин, Польша**

**<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет, Минск**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОДЛОЖЕК**  
**ДЛЯ СЕНСОРОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**  
**ПОЛУЧЕННЫХ НАНЕСЕНИЕМ Ti ПОКРЫТИЙ**  
**МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СТАЛЬ**

Благодаря своим оптическим и электрическим свойствам тонкие пленки  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  (CZTSSe) являются перспективными для использования в качестве светопоглощающего слоя в солнечных элементах [1]. Кроме того, CZTSSe является хорошей альтернативой используемым в настоящее время светопоглощающим тонким пленкам CIGS и CdTe, содержащих токсичные и редкие элементы. Проводимые исследования показывают, что в качестве подложек для таких элементов возможно использовать металлические фольги, состав поверхности которых не вызывает ухудшения поглощающего слоя [2-3].

Преимущества использования гибки солнечных панелей очевидны (гибкость, отсутствие хрупкости), кроме того, подложки из фольги позволяют использовать промышленную рулонную технологию производства пленок, обеспечивающую непрерывный процесс их осаждения на высоких скоростях. В нашей работе мы исследовали возможность применения в качестве подложек модифицированных нанесением Ti покрытий методом реактивного магнетронного распыления на тонкие листы стали по ГОСТ Р 52246-2004. Изучение топологии проводилось с применением атомно-силового микроскопа NT 206 в сочетании со сканирующей электронной микроскопией с использованием EDX Oxford Instruments AZtecEnergy-Advanced с кремний-дрейфовым детектором Vega3 Tescam при ускоряющем потенциале электронов от 10 кВ анализ состава детектором вторичных электронов типа Everhart-Thornley.

Атомносиловые изображения поверхности и изображения оплученные сканирующей электронной микроскопией представлены на рисунке 1.

Как видно на поверхности образовывается достаточно равномерное покрытие, шероховатость которого по площадке  $10 \times 10 \text{ мкм}^2$  не превышает 63 нм, что, как показано в [3], позволяет использовать такие поверхности для дальнейшего получения на них солнечных элементов типа (CZTSSe). Подложки из фольги Mo [3] большую шероховатость, (144 нм) чем Ti покрытие на стали, повидимому потому, что при осаждении покрытия происходит заполнение неровностей поверхности возникающих при механической обработке стали.

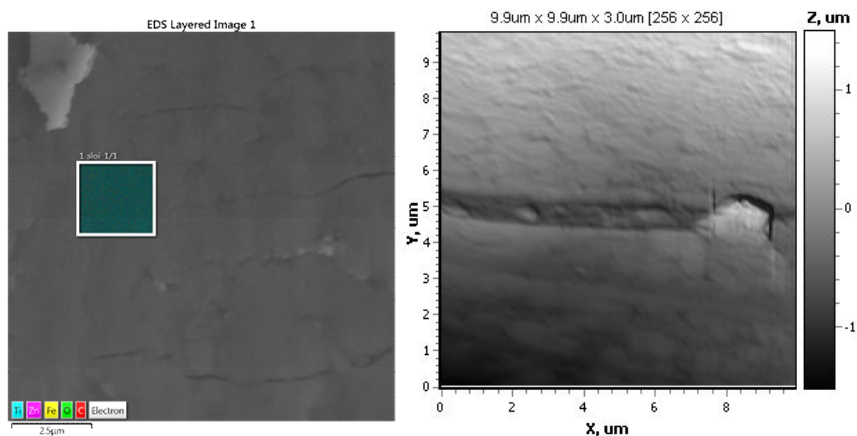


Рисунок 1 – Топография поверхности стали с нанесенным Ti покрытием, полученная СЭМ и АСМ соответственно.

Совместно со сканирующей электронной микроскопией проведен анализ состава поверхности, который показал равномерность нанесенного покрытия и подтвердил, что в составе помимо Ti с концентрацией 80 % определяются кислород и углерод, что может быть связано, как с остаточным давлением в вакуумной камере в процессе нанесения, так и с образованием оксидов титана на поверхности после нанесения покрытия (рисунок 2).

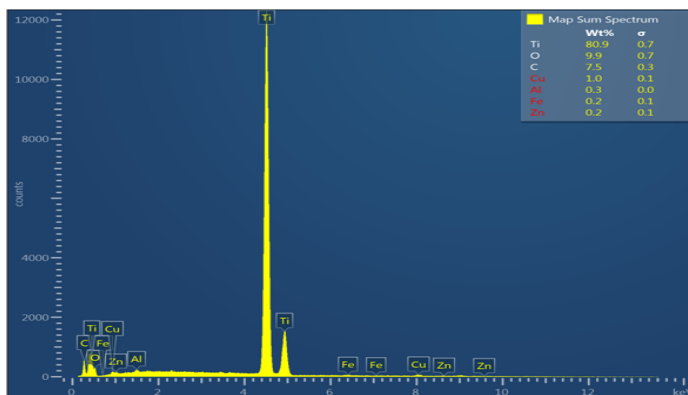


Рисунок 2 – Состав поверхности Ti покрытия на стали

Результаты исследования систем Ti покрытия на стали с цинковым покрытием показали, что даже необходимость осаждения проводящего слоя другого металла позволит получить более дешевые подложки в сравнении с ранее исследованными Mo фольгами и делает их перспективными для дальнейшего применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211250

#### Список использованных источников

4. Paranthaman M.P., Wong-Ng W., Bhattacharya R.N. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells. Springer International Publishing, 2016. 25 p.

5. A low-temperature X-ray diffraction study of the  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  thin films Mendelevov Commun., 2021. – № 31. – P. 726–727 A.V. Stanchik, V.A. Chumak, V.F. Gremenoka S. M. Baraishuk

6. Influence of the Substrate Type on the Surface Morphology of Thin  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  Films/ Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2018, Vol. 12, No. 6, pp. 1077–1081.// S.M. Baraishuk, T.M. Tkachenko, A.V. Stanchik, V.F. Gremenok, S.A. Bashkirov, M. Wiertel, M. Budzynski, A.I. Turovets, and Y.S. Yakovenko

7. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С., и др./ Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co) – покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – №1. – С. 54–58.

**Галушко Е.В., к.т.н., доцент, Львова О.М., ст. преподаватель,  
Дубкова А.В., ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ» НА ПЛАТФОРМЕ MOODLE.**

Информационная технология является наиболее важной составляющей процесса использования информационных ресурсов общества.

Наибольший прогресс среди компьютерных информационных систем отмечен в области разработки систем поддержки принятия решений (СППР). Огромная площадь полей, большое количество транспортных средств, многочисленность людей, занятых в сельском хозяйстве определили потребность в разработке качественно новых методов управления земельными ресурсами и сельскохозяйственным производством.

В настоящее время инновационное развитие аграрного сектора требует новой подготовки кадров, применение современных информационно-коммуникационных технологий. Новые технологии и идеи будут тогда, когда в сельское хозяйство придут молодые специалисты, обладающие знаниями в области цифровых умных технологий.

Для реализации новых подходов при подготовке кадров для АПК в УО «БГАТУ» преподается курс «Информационные технологии», предназначенный для студентов, обучающихся по группе специальностей «Агроинженерия». В процессе изучения дисциплины студенты получают представление о современных информационных ресурсах, спутниковых системах навигации, геоинформационных системах и их использовании в сельском хозяйстве.

Структура дисциплины состоит из трех модулей. Каждый модуль включает 5 лекций и 7 лабораторных занятий.

Модуль 1. Основы информационных технологий. На лабораторных работах изучается технология разработки реляционной базы данных на примере создания БД «Управление аграрным предприятием». В качестве инструментального средства разработки была выбрана СУБД Microsoft Access. Студенты разрабатывают полно-

ценную базу данных, начиная с создания структуры таблиц и заканчивая многостраничной формой навигации.

**Модуль 2.** *Применение информационных технологий в сельском хозяйстве с использованием геоинформационных систем (ГИС).* Студенты получают представления о функциональных возможностях ГИС; системах глобального позиционирования – NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, GALILEO. Практическая часть модуля включает лабораторные работы, ориентированные на рассмотрение возможностей прикладных программных информационных средств и технологий и их применение для решения производственных задач в сельском хозяйстве.

**Модуль 3.** *Современные информационные технологии в агропромышленном комплексе.* На данном этапе студенты должны знать основные компоненты систем поддержки принятия решений (СППР), математические модели, используемые в СППР и их классификацию. На лабораторных работах студенты осваивают работу с программой «АРМ специалиста сельского хозяйства», разработанной в УО «БГАТУ».

В образовательном процессе актуальной является интерактивная модель обучения, предусматривающая активное взаимодействие всех участников процесса обучения преподавателя и студента. Важным средством организации интерактивного обучения является учебно-методический комплекс дисциплины (ЭУМК). Комплекс по дисциплине «Информационные технологии», разработанный в среде Moodle, содержит разделы: теоретический, практический, вспомогательный и контроль знаний.

*Теоретический раздел* представляет собой изложение учебного материала. Кроме текстовой информации содержится интерактивный контент – графические материалы, видео-ролики, что позволяет более наглядно преподносить учебный материал.

*Практический раздел* включает методические указания по выполнению лабораторных работ, индивидуальные задания к занятиям, а также образцы выполнения заданий.

Следующий блок, *раздел контроля знаний*, предназначен для контроля текущей успеваемости студентов, а также для проведения итогового контроля по дисциплине в виде экзамена.

*Вспомогательный раздел* содержит список рекомендованной литературы, дополнительные справочные и вспомогательные материалы.

Использование информационных технологий характеризует сегодня уровень развития общества, возможности его интеграции в мировую цивилизацию. Этим определяется актуальность и необходимость изучения и овладения информационными технологиями в процессе подготовки специалиста с высшим техническим образованием.

#### Список использованных источников

1. Галушко Е.В. Некоторые аспекты создания и использования электронного учебно-методического комплекса «Информационные технологии»/Галушко Е.В., Серебрякова Н.Г., Львова О.М., Цубанова И.А., Шакирин А.И. // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей II Международной научно-практической конференции. Минск, 26–27 марта 2015 г.

2. Галушко Е.В. Технологии точного земледелия: перспективы внедрения в агропромышленном комплексе Республики Беларусь. / Галушко Е.В., Львова О.М., Дубкова А.В. // сборник научных статей Международной научнопрактической конференции 26–27 ноября 2020 г. – Минск: БГАТУ, 2020. – с.

**Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент**

**Учреждение образования Белорусский государственный  
аграрный технический университет, г. Минск**

**Почтенный А.Е., к.ф.-м.н., доцент**

### **ВЛИЯНИЕ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ**

Использование сенсоров в сельскохозяйственной деятельности – важнейший шаг на пути к созданию интеллектуальной фермы, так как они могут непрерывно передавать информацию о состоянии контролируемых объектов, в частности, значение таких параметров, как: концентрация токсичных газов, влажность, температура и др. Одним из типов материалов, используемых в твердотельных химических сенсорах, являются металлокомплексы фталоцианинов [1], электропроводность которых зависит от адсорбции газов донорной или акцепторной природы и чувствительность которых можно оптимизировать ионно-лучевой обработкой [2].

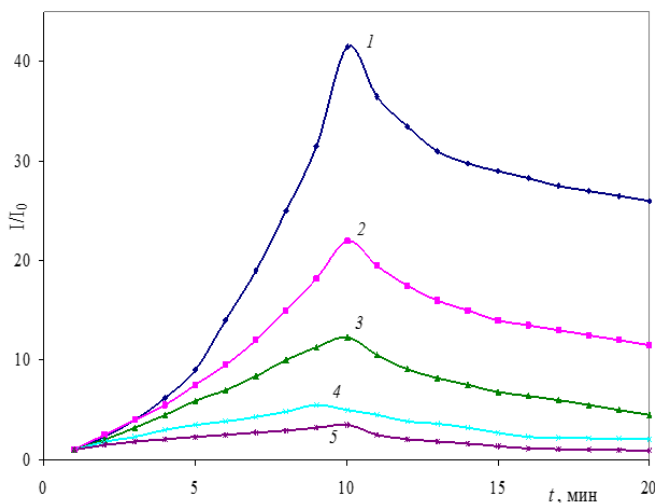
Исследуемым материалом являлись пленки фталоцианина меди (CuPc), лазерно напыленные в вакууме на ситалловые и диоксид кремниевые подложки, обладающие чувствительностью к диоксиду азота (NO<sub>2</sub>). В качестве ионно-имплантированных примесей использовались ионы платины энергией 10–20 кэВ. Имплантация ионов платины осуществлялась на установке с контактно-дуговым ионным источником. Величина энергии имплантируемых ионов определялась на основании расчетов среднего проецированного пробега и страгглинга так, чтобы значение среднего проецированного пробега составляло половину толщины пленки.

Интервал допустимых доз облучения определялся на основании совместного анализа оптических спектров поглощения легированного материала в ультрафиолетовой и видимой областях и экспериментальных зависимостей энергии активации проводимости, измеренных по температурным зависимостям проводимости, от дозы внедряемой примеси.

Измерения чувствительности исследуемых материалов к газам проводились в статическом (концентрация газа 10 ppm) и динамическом (скорость потока газа 1 мкг/мин) режимах. Исследование влияния ионно-имплантируемых примесей на стабильность электрофизических параметров проводилась путем измерений электропроводности исходных и ионно-легированных образцов регулярно через промежуток времени 1 сутки в течении одного месяца. Электропроводность измерялась на постоянном токе при нормальном атмосферном давлении через 1 минуту после подачи напряжения 30 В при температуре 294 К. Измерения после облучения проводились на отрелаксировавших образцах через 30 суток после облучения.

Максимальная чувствительность CuPc наблюдалась при температуре 80°C (рис. 1). По мере увеличения температуры относительная чувствительность уменьшалась, что объясняется увеличением скорости десорбции молекул NO<sub>2</sub> с поверхности пленок. С ростом температуры быстрое действие, или восстановление первоначальных свойств CuPc при прокачке воздуха, заметно увеличивается. Так при температурах 120 и 160°C восстановление первоначальных свойств происходит на 80–90 %.

При дозе облучения  $10^{14} \text{ см}^{-2}$  наблюдается рост чувствительности по сравнению с чистыми пленками CuPc в 1,5 раза при температуре  $80^\circ\text{C}$  (рис. 1). При увеличении температуры относительная чувствительность уменьшается, и при температуре  $160^\circ\text{C}$  она соизмерима с относительной чувствительностью чистых образцов CuPc. Абсолютная чувствительность при легировании ионами платины при дозе  $10^{14} \text{ см}^{-2}$  увеличивается примерно в 3 раза.

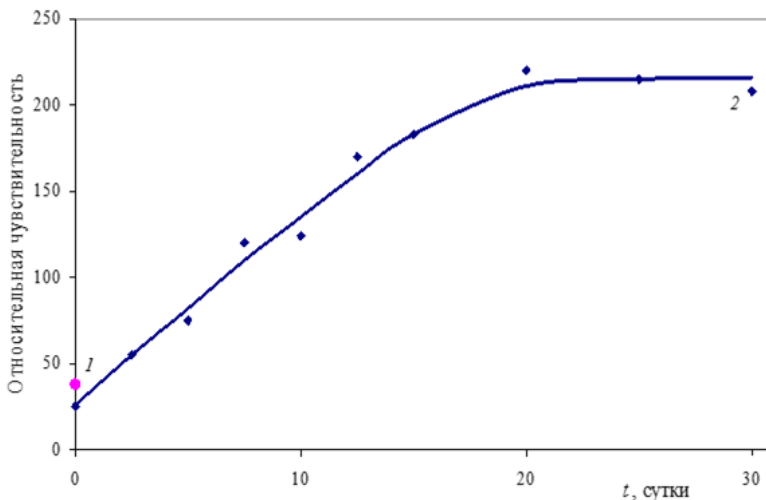


1 –  $T = 80^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T = 100^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T = 120^\circ\text{C}$ ; 4 –  $T = 140^\circ\text{C}$ ; 5 –  $T = 160^\circ\text{C}$

Рисунок 1 – Кинетика сенсорного отклика пленки CuPc ионно-легированной  $\text{Pt}^+$  дозой  $\Phi = 10^{14} \text{ см}^{-2}$  к  $\text{NO}_2$  при разных температурах

На рис. 2 представлена зависимость относительной чувствительности пленки CuPc легированной ионами  $\text{Pt}^+$  энергией 15 кэВ и дозой  $10^{14} \text{ см}^{-2}$  к  $\text{NO}_2$  от времени после ионной имплантации. Полученные результаты показывают, что непосредственно после облучения, относительная чувствительность ионно-легированной пленки к газовому воздействию становится меньше, чем у нелегированной. Затем в течение промежутка времени, составляющего 15–20 суток, наблюдается монотонное нарастание относительной чувствительности, которая достигает стационарного значения, после чего остается постоянной в течение всего времени исследования.





Чувствительность: 1 – исходной пленки; 2 – ионно-легированной пленки  
 Рисунок 2 – Изменение со временем относительной чувствительности пленки CuPc к NO<sub>2</sub>, легированной ионами Pt<sup>+</sup> энергией 15 кэВ (доза облучения 10<sup>14</sup> см<sup>-2</sup>).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211250.

**Заключение.** Таким образом, в зависимости от основной цели ионно-лучевой модификации: увеличения относительной чувствительности, увеличения абсолютной чувствительности либо повышения стабильности электрофизических свойств, необходимо осуществлять не только выбор оптимального типа иона, но и оптимальных значений энергии пучка и дозы облучения для каждого конкретного фталоцианина.

#### Список использованных источников

1. Вечер А.А., Жук П.П. Химические сенсоры. Минск, 1990.
2. Pochtenny A.E., Fedoruk G.G., Ilyushonok I.P. et al. The modified metallo-phthalocuinines: Electron transport mechanism and gas sensing properties // Electron Technology. – 2000. – Vol. 33. – № 1/2. – P. 145.

**Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент**  
**Учреждение образования Белорусский государственный**  
**аграрный технический университет, г. Минск**  
**Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент**  
**Учреждение образования Белорусский государственный**  
**технологический университет, г. Минск**  
**Почтенный А.Е., к.ф.-м.н., доцент**  
**ПРОВОДИМОСТЬ КОМПОЗИТА ФТАЛОЛОЦИАНИН**  
**МЕДИ-ПОЛИСТИРОЛ (CuPc-Ps) В ПРИСУТСТВИИ**  
**АДСОРБИРОВАННОГО КИСЛОРОДА**

Пленки на основе фталоцианинов представляют большой интерес для таких устройств органической электроники, как светоизлучающие диоды, солнечные батареи и газовые сенсоры [1–3], на функционирование которых, а именно на процессы переноса электронов в них, оказывает влияние адсорбированный из атмосферы кислород. Как известно [4], в CuPc-Ps реализуется прыжковый механизм проводимости. При этом неясно, какие центры локализации – собственные или примесные – ответственны за электроперенос. Цель работы – установление механизма влияния адсорбированного кислорода на проводимость CuPc-Ps и выявление вклада собственных и примесных центров локализации в проводимость.

Пленки CuPc-Ps толщиной 100 нм получены методом лазерного распыления в вакууме  $10^{-2}$  Па порошковообразных мишеней с последующим осаждением газообразных продуктов распыления на подложки из поликора со встречно-штыревой системой электродов. Измерение спектров поглощения в видимой и ультрафиолетовой области спектра показало отсутствие смещения пиков поглощения при диспергировании CuPc в матрицу Ps. Измерения проводимости  $G$  и ее температурной зависимости осуществлялись методом вольтметра-амперметра в вакууме при давлении  $10^{-2}$  Па при увеличении температуры от 40 до 140°C.

Исследование параметров прыжкового электропереноса в пленках CuPc-Ps проводилось с использованием метода циклической термодесорбции [4]. Как известно [2, 3],  $G$  пленок фталоцианинов зависит от концентрации адсорбированного кислорода, которая уменьшается при нагревании образца.

Полученные данные (рис. 1) показывают, что по мере десорбции кислорода (интервал А-В) наблюдается увеличение как энергии активации проводимости  $E_a$ , так и предэкспоненциального множителя

$G_0$  в температурной зависимости проводимости, что соответствует увеличению центров локализации, обеспечивающих прыжковый электроперенос. По достижении некоторой критической концентрации адсорбированного кислорода (точка В), дальнейшее уменьшение этой концентрации уменьшает значение  $E_a$  и  $G_0$  (интервал В-С).

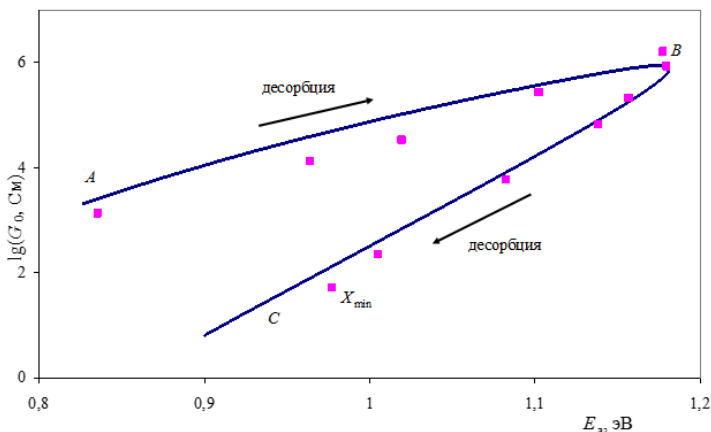
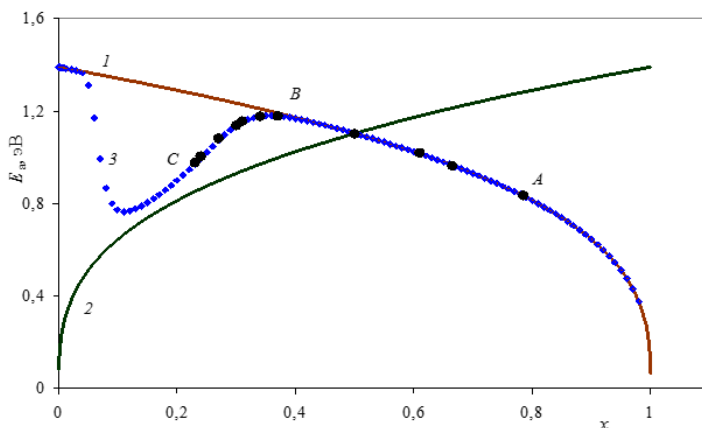


Рисунок 1 – Связь энергии активации проводимости  $E_a$  с предэкспоненциальным множителем  $G_0$  в пленках 20 % композита CuPc-PS при различных концентрациях адсорбированного кислорода

Точки – экспериментальные данные, сплошная линия – расчет по двухуровневой модели прыжковой проводимости при  $a_1 = 145$  пм,  $a_2 = 100$  пм, а также значения концентрации центров локализации в материале без примесей  $0,9 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ . Буквы – максимальная (А) и минимальная (С) концентрации адсорбированного кислорода, (В) – переход от собственной проводимости к примесной

Полученные результаты (рис. 1) можно описать на основе двухуровневой модели прыжковой проводимости [5] (рис. 2). При высоких начальных концентрациях адсорбированного кислорода (точка А на рис. 1, 2)  $G$  и  $E_a$  обусловлены переносом электронов по собственным состояниям. По мере десорбции кислорода уменьшается количество примесных состояний и, увеличивается количество собственных состояний, что приводит к росту  $E_a$  и  $G_0$  (интервал А–В на рис. 1, 2). При концентрации кислорода, соответствующей точке В на рис. 1, 2, происходит переход от собственной проводимости к примесной, перенос электронов по которой и вносит основной

вклад в проводимость при дальнейшем уменьшении концентрации адсорбированного кислорода (интервал В–С на рис. 1, 2).



1 – с учетом собственных состояний; 2 – с учетом примесных состояний;  
3 – по двухуровневой модели прыжковой проводимости;  
точки – экспериментальные данные

Рисунок 2 – Зависимость энергии активации проводимости  $E_a$  пленки фталоцианин меди-полистирол от относительной концентрации адсорбированного кислорода  $x$

**Закключение.** Сопоставление расчетов с экспериментальными данными позволяет определить концентрацию центров локализации и радиусы локализации электронов в примесных и собственных состояниях, а также установить, по каким состояниям – собственным или примесным – осуществляется электроперенос.

#### Список использованных источников

1. Forrest, S.R. Ultrathin organic films grown by organic molecular beam deposition and related techniques / S.R. Forrest // Chem. Rev. – 1997. – Vol. 97. – P. 1793.
2. Симон, Ж. Молекулярные полупроводники / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре. – М.: Мир, 1988. – 342 с.
3. Wright, J. D. Gas adsorption and conductivity of phthalocyanines / J. D. Wright // Progr. Surf. Sci. – 1989. – Vol. 31. – P. 1.

4. Прыжковая проводимость во фталоцианине меди и композиционных структурах на его основе / А.Е. Почтенный [и др.] // Физика твердого тела. – 1996. – Т. 38, № 8. – С. 2592–2601.

5. Почтенный, А.Е. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца / А.Е. Почтенный, А.В. Мисевич // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29. – С. 56–61.

**Кахоцкий М.И., Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент,  
Павлович И.А.,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА  
ЗАСЫПКИ ПРИ МОНТАЖЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**

Заземление должно удовлетворять требованиям обеспечения безопасности людей и животных, защиты электроустановок, а также обеспечения эксплуатационных режимов работы электроустановок и грозозащиты [1]. Наиболее важными факторами, влияющими на величину сопротивления растеканию тока контура заземления, являются конфигурация контура заземления и удельное сопротивление грунта. Для удельного сопротивления грунта определяющими параметрами являются влажность и температура [2–3]. Согласно зарубежной практике, удельное сопротивление почвы может быть уменьшено до 90 % введением в около электродное пространство хлорида натрия, сульфата магния, сульфата меди и хлорида кальция или аналогичных веществ. Однако данный способ отрицательно сказывается на защите заземляющих электродов от коррозии [4]. Так же, известно использование заземлителей в бетонной оболочке, которая ниже уровня земли представляет собой полупроводниковую среду с удельным сопротивлением около 30 Ом·см при 20° С, что ниже, чем у среднего суглинка [2, 5].

В целях сохранения работоспособности и улучшения долговечности заземляющих проводников необходимо выполнение мероприятий по контролю за коррозией, одним из которых может явиться снижение кислотности почвы в местах заложения ЗУ. Наиболее актуальны эти мероприятия для горизонтальных участков проводников. Перспективным способом защиты ЗУ от коррозии является применение обработки грунта веществами и смесями, неагрессивными к материалу заземли-

теля, содержащими ингибиторы коррозии, либо вещества, уменьшающие кислотность почвы в около электродном пространстве. В частности, нами проведены исследования, когда в смесях для оптимизации заземления, исследованных в работах [7, 8] проведено добавление в состав древесной золы. Ранее показано, что стабилизация влажности грунта по величине 12–16 процентов является оптимальной, поэтому исследования удельного сопротивления получаемых смесей проводили при влажности 20 %, чтобы избежать, сколь либо значительного влияния влажности. На рисунке 1 показана зависимость сопротивления смеси от количества золы.

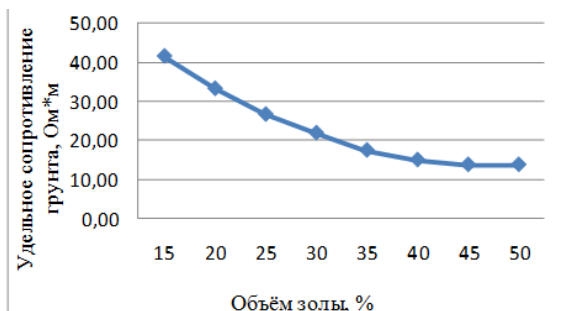


Рисунок 1 – Зависимость удельного сопротивления грунта от объема золы при влажности смеси 20%.

Как видно из графика, представленного на рисунке 1, при добавлении золы вплоть до 45 % от массы смеси происходит снижение удельного сопротивления грунта. Дальнейшее увеличение не приводит к уменьшению удельного сопротивления грунта, что указывает на получение оптимальной концентрации.

В течение года в связи с изменением атмосферных и климатических условий содержание влаги в грунте и его температура изменяются, и, следовательно, изменяется и удельное сопротивление. На рисунке 2 приведен график зависимости смеси от влажности.

Видно, что в отличие от известных ранее данных сопротивление смеси имеет несколько иную зависимость от влажности. Снижение удельного сопротивления происходит в диапазоне значений 20–35 %. Дальнейшее увлажнение мало влияет на его сопротивление.

Результаты измерений показали, что золу можно применять в качестве засыпки при замене исходного грунта на грунт с меньшим удельным сопротивлением (торф, глину, чернозём и др.) или смесь.

Даже при нормальной влажности грунта зола способствует существенному снижению его удельного сопротивления.

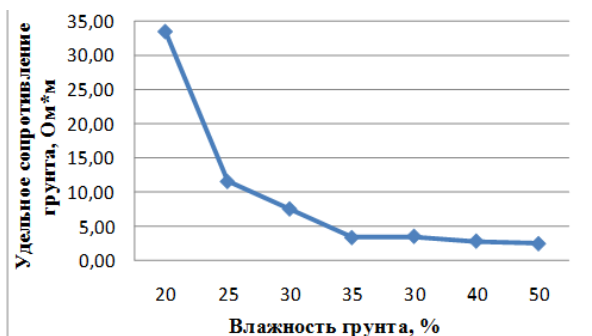


Рисунок 2 – Зависимость удельного сопротивления грунта от влажности.

Приняв во внимание значительное содержание калия и кальция в золе, что способствует увеличению устойчивости грунта к заморозкам, достигается не только искусственное снижение удельного сопротивления грунта, но и обеспечивается уменьшение глубины промерзания грунта в зимний период. За счёт уменьшения кислотности почвы уменьшается коррозионное воздействие на заземляющий электрод и, соответственно, увеличится его срок службы.

#### Список использованных источников

1. Смирнов О.В., Сухачев И.С. О некоторых особенностях устройства заземления и расчета молниезащиты // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2014. – № 2. – С. 102–106.
2. Веденеева Л.М., Чудинов А.В. Исследование влияния основных свойств грунта на сопротивление заземляющих устройств // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 89–100.
3. IEEE Std 142 -2007 IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. – Approved 7 June 2007. 225 p.
4. Драко М.А. Коррозия заземлителей электроустановок // Энергетическая стратегия, 2019, № 6 (69), с. 44–48.
5. Tung C.C., Lim S.C. Performance of electrical grounding system in soil at low moisture content condition at various compression levels // Journal of Engineering Science and Technology. – 2017. – Vol. 12, Special Issue 1. – P. 27–47.

6. P.A. Ferre, et al. "The dependence of the electrical conductivity measured by time domain reflectometry on the water content of a sand", Water Resour. Res., 1998.

7. Барайшук, С.М., Павлович И.А. Снижение сопротивления заземляющих устройств применением обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя стабилизирующими влажностью добавками // Агропанорама, 2020, № 1 (137), С. 20–23.

8. Барайшук С.М. и др. Снижение сезонных колебаний сопротивления растеканию тока заземляющих устройств применением смесей для стабилизации влажности грунта. «ЭПОХА НАУКИ». – 2020. – №24 (2020).– С. 87–93.

**Бобрович О.Г., к.ф.-м.н., доцент**

**УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь**

**Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент**

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

**СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ,  
ФОРМИРУЕМОГО ВАКУУМНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ  
ТИТАНА, КОБАЛЬТА И МОЛИБДЕНА НА СТЕКЛО**

В данной работе изучали закономерности смачивания и топографию поверхности стекла модифицированного осаждением титана, кобальта и молибдена в условиях ассистирования ионами  $Ti^{+}$ ,  $Co^{+}$  и  $Mo^{+}$ , соответственно, с использованием импульсного ионного источника вакуумной электродуговой плазмы. Данный источник создает плазму вакуумного электродугового разряда, в которой одновременно генерируются положительные ионы и нейтральная фракция из материала электродов источника ионов [1]. Осаждение металлического (Ti, Co) покрытия на стекло в условиях ассистирования ускоренными ионами  $Ti^{+}$ ,  $Co^{+}$  проводили при ускоряющем напряжении  $U = 7$  кВ и потоках ионов  $(2,5-9,9) \cdot 10^{16} Ti^{+}/cm^2$ ,  $(2,7-10,8) \cdot 10^{16} Co^{+}/cm^2$ . Осаждение молибдена проводили при ускоряющем напряжении  $U = 10$  кВ для ассистирующих осаждение ионов  $Mo^{+}$  и интегральных потоках  $1,2 \cdot 10^{16} - 1,1 \cdot 10^{17} Mo^{+}/cm^2$ , а также при отсутствии ускоряющего напряжения ( $U = 0$  кВ) и времени модифицирования 3, 6, 9 ч.



Морфология поверхности исходных и модифицированных образцов изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп NT-206), а смачивание дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу  $\Theta$  смачивания (РКУС). Для получения воспроизводимых результатов капли воды, наносимые на образцы, имели объем  $V = (47,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$  мл. Погрешность в измерении РКУС составляла не более 2%.

Исходная поверхность стекла была гидрофильной ( $\Theta = 18,9^\circ$ ). Увеличение времени модифицирования приводит к росту значений РКУС как при нанесении титана, так и при нанесении кобальта. Поверхность стекла становилась гидрофобной и значение РКУС увеличилось до  $\Theta = 94,5^\circ$  (рисунок 1 а) при достижении значения потока ассистирующих ионов титана  $9,9 \cdot 10^{16} \text{ Ti}^+/\text{см}^2$ . При осаждении кобальта поверхность стекла становится гидрофобной уже при достижении значения потока ассистирующих ионов  $8,1 \cdot 10^{16} \text{ Co}^+/\text{см}^2$ .

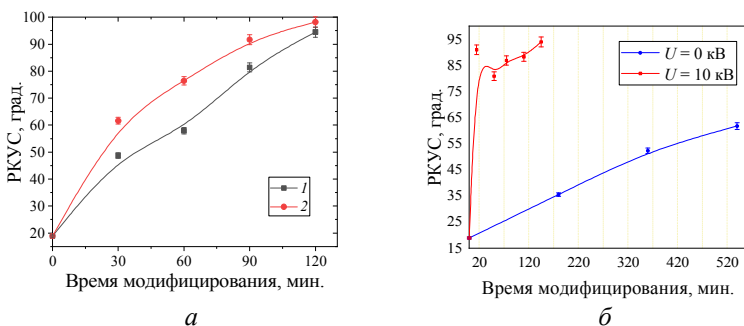


Рисунок 1 – Зависимость равновесного краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности стекла от времени модифицирования осаждением  
а: 1 – титана; 2 – кобальта; б – молибдена

Для образцов, полученных осаждением молибдена при отсутствии ускоряющего напряжения, установлено, что осаждение пленки в течение 3 ч приводит к уменьшению значения средней шероховатости поверхности в 2,2 раза по сравнению с шероховатостью исходной стеклянной подложки, а при осаждении Мо в течение 6 и 9 ч – в 1,3 раза. При этом следует отметить, что значение РКУС возрастает с увеличением времени осаждения покрытия. В случае использования ускоряющего напряжения 10 кВ при ионно-ассистируемом

нанесении Мо покрытия средняя шероховатость при малом времени модифицирования также уменьшается в сравнение с шероховатостью ( $R_a = 2,2$  нм) исходного стекла, как и в случае режима осаждения Мо покрытия при  $U = 0$  кВ. Однако, при увеличении времени модифицирования стекла до 75 мин и выше, шероховатость увеличивается ( $R_a = 2,7$  нм) и уже превышает шероховатость исходного стекла. Следовательно, образцы Мо-покрытие/стекло, полученные при наличии ускоряющего потенциала, отличаются от пленок молибдена, нанесенных на стекло в безпотенциальном режиме тем, что сформированная в отсутствие потенциала поверхность пленки Мо обладает меньшей шероховатостью.

Анализ значений РКУС поверхности стекла с осажденным Мо-покрытием обнаруживает уменьшение степени гидрофильности поверхности с увеличением времени нанесения покрытия и соответственно толщины пленок молибдена (рисунок 1 б). При этом, используя осаждение Мо-покрытия в отсутствии ускоряющего напряжения ( $U = 0$  кВ) значение РКУС изменяется от  $\theta = 35,5^\circ$  (при  $t = 180$  мин) до  $\theta = 61,7^\circ$  (при  $t = 540$  мин), что существенно превышает РКУС поверхности исходного стекла ( $\theta = 18,9^\circ$ ). Увеличение интегрального потока, асситируемых осаждение покрытия ионов, с  $3,2 \cdot 10^{16}$  до  $8,1 \cdot 10^{16}$   $\text{Mo}^+/\text{см}^2$  также приводит росту степени гидрофильности поверхности, но в большей степени, чем в безпотенциальном режиме осаждения покрытия. Достижение интегрального потока ионов величины  $11,0 \cdot 10^{16}$   $\text{Mo}^+/\text{см}^2$ , приводит к тому, что поверхность системы Мо-покрытие/стекло становится гидрофобной и РКУС увеличивается до значения  $\theta = 93,9^\circ$ .

В результате проведенных исследований установлено, что на смачиваемость поверхности влияют условия осаждения покрытия, морфология поверхности (шероховатость поверхности), а также химический состав модифицированной поверхности. Полученные результаты демонстрируют возможность управления шероховатостью и смачиваемостью поверхности структур пленка/стеклянная подложка путем осаждения металлического покрытия на стекло разными интегральными потоками ионов, формируя покрытия состав, которых перспективен в качестве создания тыльных контактов поглощающих слоев солнечных элементов [2].

#### Список использованных источников

1. Бобрович, О.Г. Морфология и свойства поверхности сплава АМг2М, модифицированного осаждением титана в условиях ионного ассистирования / О.Г. Бобрович, В.В. Яскельчик // Труды БГТУ. – №2 (224): Физ.-мат. науки и информатика. – 2019. – С. 113–117.
2. Морфология и смачиваемость поверхности структур пленка Мо, Al, Al+1ат.%Cr/стекло, сформированных ионно-ассистированным осаждением / Михалкович О.М. [и др] // Материалы 11-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, Беларусь, 23–25 сентября 2015 г., Минск: Изд. центр БГУ, 2015. – С. 248–250.

**Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРОИЗВОДНЫХ  
МОНОСАХАРИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО,  
ТЕХНИЧЕСКОГО И МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Практически ценные свойства высокомолекулярных соединений, в частности, материалов на основе углеводов, в значительной степени определяются особенностями их физической структуры на молекулярном уровне – распределением определенных связей и структурных фрагментов молекул, их пространственной ориентацией, поворотной изомерией, системой внутри- и межмолекулярных взаимодействий. Именно эти тонкие детали строения молекулярных соединений наиболее отчетливо и избирательно проявляются в колебательных спектрах. Колебательный спектр в инфракрасной (ИК) области представляет собой своеобразную фотографию вещества, несет уникальную информацию о его строении и свойствах.

Исследования, связанные с изучением физической структуры и свойств производных моносахаридов и выработкой рекомендаций по их использованию в процессах получения промышленных изделий с требуемыми техническими характеристиками, немыслимы без применения современных возможностей молекулярной спектроскопии. Методы молекулярного спектрального анализа позволяют без

разложения веществ, в их естественном виде, проводить одновременный высокоизбирательный и экспрессный анализ как их химического строения, так и физической структуры.

Наиболее полная и достоверная расшифровка наблюдаемых ИК спектров сложных органических соединений возможна лишь при тесном сочетании экспериментальных и теоретических методов колебательной спектроскопии, молекулярного моделирования и математической обработки экспериментальных спектров.

Надежное моделирование ИК спектров производных целлюлозы и эпоксисахаридов, анализ и интерпретация результата, основанные на комплексном использовании эмпирических и расчетных методов, явились целью данного исследования. Эпоксисахариды как промежуточные соединения присутствуют в химических реакциях, лежащих в основе синтеза многих углеводов сельскохозяйственного, медицинского и технического назначения. Детальная интерпретация характерных спектральных признаков исследованных объектов имеет большое практическое значение, поскольку непосредственно связана с идентификацией соединений и направленным изменением их практически ценных свойств.

В предыдущем сообщении была продемонстрирована эффективность совместного использования теоретической колебательной спектроскопии и квантовой химии при установлении структурных корреляций для нитро- и метилпроизводных глюкопиранозидов [1]. В данной работе проведена детальная интерпретации ИК спектров 2,3-ангидро-4-деокси- $\alpha$ -D-рибогексипиранозида, метил 3,4-ангидро- $\alpha$ -D-талогексипиранозида и нескольких модельных нитроцеллюлозе и гидроксипроцеллюлозе соединений на основе результатов полного расчета частот, распределений потенциальной энергии, абсолютных интенсивностей нормальных колебаний молекул и сопоставления теоретических результатов с соответствующими экспериментальными данными. Для теоретических расчетов спектров использован оригинальный комплекс программ [2].

Проанализировано проявление эпокси- и оксиметильной групп в ИК спектрах эпоксисахаридов и установлено влияние эпоксигруппы на полосы, характерные для пиранозного кольца. Экспериментальная и теоретическая спектральные кривые поглощения эпоксисахарида метил 3,4-ангидро- $\alpha$ -D-талогексипиранозида изображены на рисунке 1.

В ИК спектрах гидроксипроцеллюлозы выявлены полосы поглощения, по изменению интенсивностей которых можно анализировать и контролировать процесс термического гелеобразования водных растворов простых эфиров целлюлозы, происходящий при нагревании растворов.

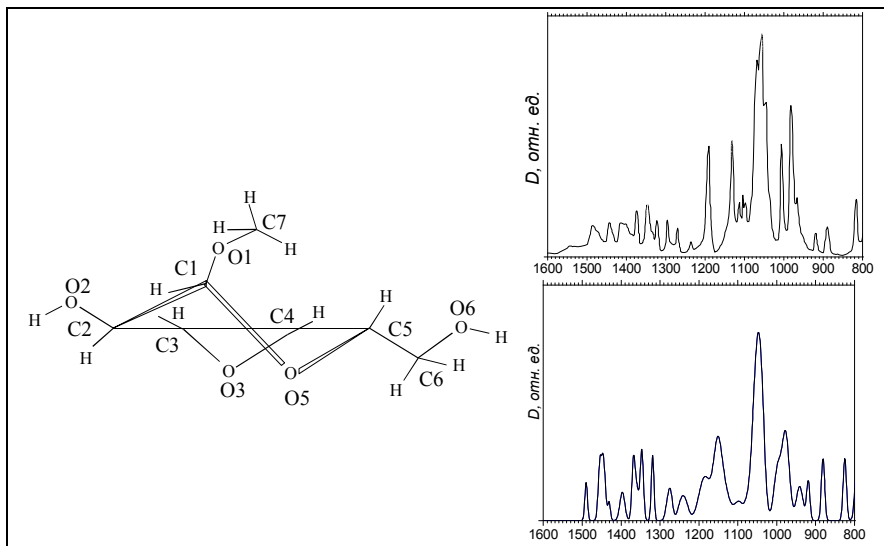


Рисунок 1 – Структура, экспериментальный (вверху) и теоретический (внизу) ИК спектры поглощения метил 3,4-ангидро- $\alpha$ -D-талогексопиранозид в области 1600 – 800  $\text{см}^{-1}$

Практическая значимость данного исследования состоит в разработке рекомендаций по установлению взаимосвязи «спектр – структура – свойство» при проведении анализов структурных и химических превращений соединений эпоксисахаридов и целлюлозы сельскохозяйственного и технического назначения.

#### Список использованных источников

1 Королевич М.В. Структура и спектроскопические свойства метил- и нитропроизводных кристаллических глюкопиранозидов // Материалы международной научно-технической конференции «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития

АПК», Минск, 19–20 декабря 2019 года, с. 273–275. – Минск: БГАТУ, 2019.

2. Королевич М.В. Аналитическая инфракрасная спектроскопия сахаридов: Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. – Минск, 2009. – 333 с.

**УДК 546.723+846.87**

**Лубинский Н.Н., к.х.н., Слонская С.В., к.х.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
Глинская А.А., к.х.н., Петров Г.С., к.х.н., доцент  
УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ФЕРРИТЫ ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННЫЕ ЛАНТАНОМ,  
ТИТАНОМ И КОБАЛЬТОМ КАК МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ГАЗОВ**

В настоящее время во всех сферах производственной деятельности человека используется разнообразное количество опасных жидкостей, которые при неправильном и халатном обращении могут нанести вред здоровью человека, окружающей среде и материальный ущерб в случае производственной аварии. Исходя из этого, большой интерес представляет изучение материалов, которые могут применяться как газочувствительные слои химических сенсоров, для дальнейшего использования их в составе газоанализаторов, которые могут обнаруживать в воздухе содержание пожаровзрывоопасных паров при незначительных концентрациях.

Одним из самых интересных соединений, на основе которого создают новые магнитоэлектрические материалы, является феррит висмута  $Bi_2Fe_4O_9$ .

Целью данной работы являлось установление закономерностей влияния замещения ионов висмута  $Bi^{3+}$  ионами лантана  $La^{3+}$ , а также ионов железа  $Fe^{3+}$  ионами титана  $Ti^{4+}$  и кобальта  $Co^{2+}$  на электрические и сенсорные свойства твердых растворов на основе феррита висмута  $Bi_2Fe_4O_9$  как перспективных материалов для создания химических сенсоров газов.

Исследование сенсорных свойств на присутствие в воздухе паров жидкостей бензина АИ-92, бутанола, этанола, бензола, четырёххло-

ристого углерода проводили на толсто пленочных образцах ферритов висмута следующего состава  $Bi_2Fe_{4-2x}Ti_xCo_xO_9$  ( $x = 0,05; 0,1; 0,2; 0,3$ ) и  $Bi_{2-x}La_xFe_4O_9$  ( $x = 0,05; 0,1; 0,2; 0,3$ ). Из синтезированных порошков ферритов висмута получали толстые пленки соответствующего состава, нанесенные на подложки из титаната – цирконата лантана – кальция.

Температурные зависимости величины отклика имели четко выраженный максимум в областях температур, соответствующим  $650 - 750\text{ K}$  для систем  $Bi_2Fe_{4-2x}Ti_xCo_xO_9$  и  $Bi_{2-x}La_xFe_4O_9$ . Установлено, что максимальные значения величины отклика толстых пленок на основе ферритов висмута, на присутствие различных паров в воздухе, находятся в том же интервале температур, которые соответствуют переходу с полупроводникового на электронный тип электропроводности. Данный переход был определен по результатам исследования температурных зависимостей коэффициента термоЭДС ( $S$ ) в работе [1]. Эта зависимость имеет  $S$ -образный характер, и меняет знак с положительного на отрицательный для этих систем в области температур  $650-750\text{ K}$ , что указывает на смену типа электропроводности с полупроводникового ( $S > 0$ ) на электронный ( $S < 0$ ).

Все толстые пленки обладали заметной чувствительностью даже при концентрациях заметно ниже нижнего концентрационного предела воспламенения, взятых для сравнения из справочника [2]. Однако большей чувствительностью обладали толстые пленки на основе составов системы  $Bi_2Fe_{4-2x}Ti_xCo_xO_9$ .

Установлено, что для двух систем максимальной чувствительностью обладают толстые пленки на основе составов, в которых степень замещения составляет  $x = 0,1$ . Для состава  $Bi_2Fe_{3,8}Ti_{0,1}Co_{0,1}O_9$  чувствительность составляла  $\approx 300\%$ , а для состава  $Bi_{1,9}La_{0,1}Fe_4O_9 \approx 200\%$ . Следовательно, состав феррита  $Bi_2Fe_{3,8}Ti_{0,1}Co_{0,1}O_9$  является более перспективным для использования в качестве чувствительного слоя в газоанализаторах.

Для системы  $Bi_2Fe_{4-2x}Ti_xCo_xO_9$  ( $x = 0,1; 0,05; 0,2; 0,3$ ) были проведены исследования влияния концентрации паров на величину отклика ( $S$ ) при температурах соответствующих максимумам на зависимостях  $S = f(T)$ . Зависимости были построены в координатах  $\log(R_{\text{газа}}/R_{\text{возд}}) = f(\log(C))$ . Эти зависимости носили почти линейный характер и их можно описать линейными уравнениями, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Линейные уравнения зависимости величины отклика от концентрации паров в координатах  $\log(R_{\text{газ}}/R_{\text{возд}}) = f(\log(C))$  при различных степенях замещения  $x$  для системы  $Bi_2Fe_{4-2x}Ti_xCo_xO_9$

| Степень замещения | Пары жидкости | Уравнение            |
|-------------------|---------------|----------------------|
| $x=0,05$          | Бутанол       | $y = 0,256x + 0,390$ |
| $x=0,05$          | Бензин        | $y = 0,282x + 1,784$ |
| $x=0,05$          | Этанол        | $y = 0,107x + 0,123$ |
| $x=0,05$          | Ацетон        | $y = 0,254x - 0,038$ |
| $x=0,1$           | Бутанол       | $y = 0,362x - 0,960$ |
| $x=0,1$           | Бензин        | $y = 0,285x + 0,123$ |
| $x=0,1$           | Этанол        | $y = 0,175x + 0,153$ |
| $x=0,1$           | Ацетон        | $y = 0,223x + 0,184$ |
| $x=0,2$           | Бутанол       | $y = 0,085x + 0,165$ |
| $x=0,2$           | Бензин        | $y = 0,210x - 0,045$ |
| $x=0,2$           | Этанол        | $y = 0,134x - 0,212$ |
| $x=0,2$           | Ацетон        | $y = 0,425x - 0,825$ |
| $x=0,3$           | Бутанол       | $y = 0,068x + 0,308$ |
| $x=0,3$           | Бензин        | $y = 0,154x - 0,265$ |
| $x=0,3$           | Этанол        | $y = 0,325x - 0,625$ |
| $x=0,3$           | Ацетон        | $y = 0,058x + 0,152$ |

Полученные уравнения можно использовать как калибровочные кривые, для нахождения концентрации паров в воздухе.

#### Список использованных источников

1. Башкиров, Л.А. Кристаллическая структура и магнитные свойства мультиферроиков в системах  $BiFeO_3 - LaCoO_3$  / Л.А. Башкиров, А.А.Затюпо // Молодежь в науке. Пр. к журн. Вести НАН РБ сер. Химия наук. – 2012. Часть 1. – С. 22–26.

2. Баратов А.Н. Справочное издание «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения»./ А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук – Москва: издательство «Химия», 1990. – 384с.



**Маширов А.В.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., Ткаченко Т.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Мусабилов И.И.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., Головчан А.В.<sup>4</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Коледов В.В.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., профессор, Шавров В.Г.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н.,  
профессор, Митюк В. И.<sup>5</sup>, к.ф.-м.н.**

**<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им.**

**В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия,**

**<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>3</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа,  
Россия**

**<sup>4</sup>Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина,  
Донецк**

**<sup>5</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси  
по материаловедению, Минск, Беларусь**

### **ХЛАДАГЕНТ TbCu<sub>2</sub> ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕФРИЖЕРАТОРОВ**

Активное изучение в последние десятилетия новых магнитных материалов на основе редкоземельных металлов связано с обнаружением в них широкого разнообразия магнитных фазовых превращений и высокого значения магнитокалорического эффекта. Перспективным для использования в качестве рабочего тела рефрижератора в криогенной области температур является сплав TbCu<sub>2</sub>. Антиферромагнитное упорядочение в нем сопровождается гигантским обратным магнитокалорическим эффектом  $\Delta S = 11.5$  Дж/кг К в магнитном поле до 7Т и существенной хладоемкостью  $RC = 339$  Дж/кг. Такого типа рабочие тела с обратным магнитокалорическим эффектом могут существенно упростить конструкцию и уменьшить тепловые потери на конструктивных элементах магнитных криогенных рефрижераторов. [1].

Нами был синтезирован сплав TbCu<sub>2</sub> и проведены исследования его магнитных и магнитокалорических свойств, которые при охлаждении показали магнитные фазовые переходы из ферромагнитного в антиферромагнитное состояние и затем изменение типа антиферромагнитной структуры (рис. 1-2).

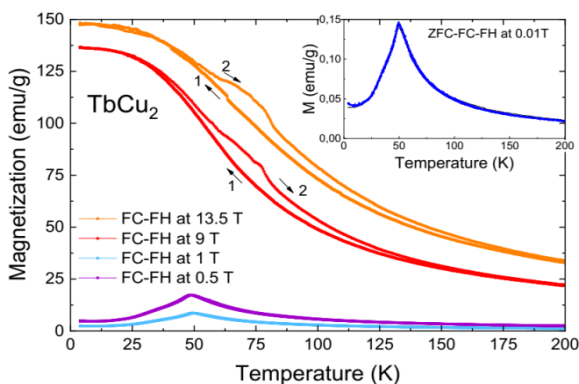


Рисунок 1 – Изополевая намагниченность образца  $\text{TbCu}_2$  в зависимости от температуры в магнитных полях 0,5 Тл, 1 Тл, 9 Тл, 13,5 Тл. На вставке показан вид изополевой намагниченности в магнитном поле 0,01 Тл.

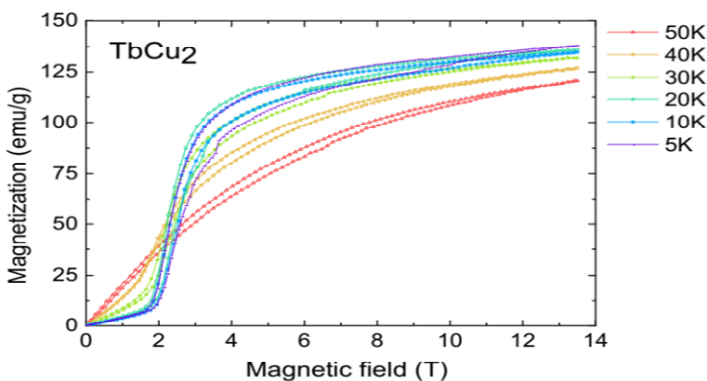


Рисунок 2 – Изотермическая намагниченность  $\text{TbCu}_2$  в магнитных полях от 0 до 13,5 Тл.

Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ и РФФИ в рамках научного проекта №Т20Р-204 и № 20-58-00059, соответственно.

#### Список использованных источников

1. Zheng X. Q. et al. The normal and inverse magnetocaloric effect in  $\text{RCu}_2$  ( $\text{R} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$ ) compounds //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – Т. 421. – С. 448–452.

**Мисевич А.В., к.ф.-м.н., Лаппо А.Н., ассистент; доцент;  
Почтенный А.Е., к.ф.-м.н., доцент;**

**УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**Долгий В.К., к.ф.-м.н., зав. кафедрой,**

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

**ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ И ФОТОАССИСТИРОВАННОЙ  
СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕН-PPV**

Фотоассистированная сканирующая туннельная микроскопия (фото-СТМ) представляет собой сканирующую туннельную микроскопию в условиях внешнего освещения исследуемой поверхности и сочетает высокое пространственное разрешение сканирующей туннельной микроскопии с энергетической селективностью оптической спектроскопии, благодаря чему может быть использована для наномасштабного фазового анализа [1]. Сканирующая туннельная спектроскопия (СТС) заключается в измерении функции  $dI/dU(U)$ , т.е. производной вольтамперной характеристики туннельного зазора, которая отражает локальную плотность электронных состояний вблизи уровня Ферми [2]. Обладая рекордным латеральным разрешением в несколько ангстрем, СТС позволяет получать информацию об электронной структуре.

Цель данной работы – изучить возможность применения методов сканирующей туннельной спектроскопии и фотоассистированной сканирующей туннельной микроскопии для исследования локальных (на нанометровых масштабах) свойств поверхности тонкопленочных структур и наноструктур на основе органического полупроводника поли[2-метокси-5-(2-этилгексилокси)-1,4-фениленвинилена] (МЕН-PPV).

Пленки МЕН-PPV толщиной 100 нм были осаждены методом центрифугирования из раствора на подложку из стекла с предварительно нанесенным прозрачным полупроводниковым слоем окислов индия и олова (ИТО) (лаборатория физики твердого тела, Потсдамский университет, Германия). Для изучения полученных пленок методами фото-СТМ и СТС применялся сканирующий туннельный

микроскоп (“Explorer™”, TopoMetrix Co., USA) с использованием механически заточенных игл из платино-иридиевой проволоки диаметром 0,2 мм.

При исследовании методом СТС для регистрации вольтамперной характеристики (ВАХ) туннельного контакта зонд СТМ подводится сканером в предварительно выбранную точку поверхности, затем производилось снятие нескольких ВАХ и их усреднение. Аналогично проводились измерения ВАХ при освещении полупроводниковым лазером с длиной волны 532 нм и выходной мощностью 6 мВт («зеленый лазер») и гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм и выходной мощностью 5 мВт («красный лазер»).

По усредненной ВАХ рассчитывалась дифференциальная проводимость  $dI/dU$ . Зависимость  $dI/dU$  от напряжения смещения отражает распределение плотности электронных состояний по энергии, при этом  $U = 0$  соответствует уровню Ферми ( $E_F$ ), отрицательные смещения – заполненным состояниям ( $E < E_F$ ), положительные – свободным ( $E > E_F$ ). На характеристике (рис. 1) отчетливо наблюдаются край заполненных состояний и край свободных состояний (валентной зоны и зоны проводимости). Отсечки на оси напряжений позволяют определить ширину запрещенной зоны, которая для пленок МЕН-PPV примерно 2 эВ и сделать вывод, что в пленках МЕН-PPV реализуется  $p$ -тип проводимости.

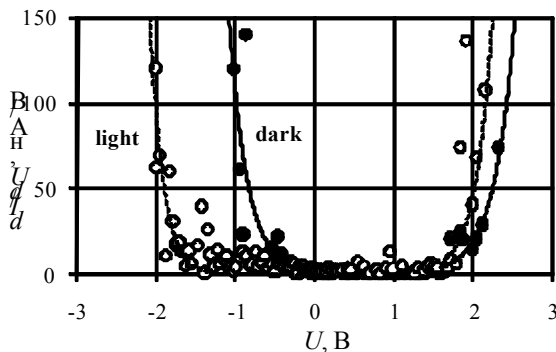


Рисунок 1. – Темновые (dark) и световые (light) зависимости дифференциальной проводимости от напряжения для пленок МЕН-PPV

Освещение исследуемых пленок излучением зеленого лазера приводит к симметричности ВАХ (рис. 1). Это связано с выравни-

ванием концентрации электронов и дырок в валентной зоне и зоне проводимости, что в условиях равновесия могло бы быть объяснено, как смещение уровня Ферми на середину запрещенной зоны.

Были проведены СТМ-измерения пленки МЕН-PPV, полученные при включении и выключении поочередно красного и зеленого лазера в процессе сканирования. На рис. 2 показано, что ступенька на СТМ-изображении образуется при освещении зеленым лазером, на длине волны, поглощаемой пленкой.

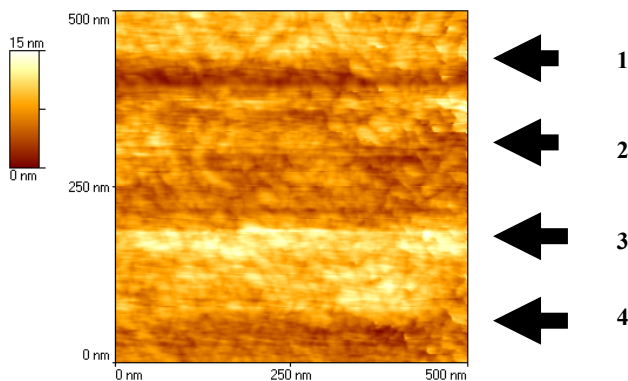


Рисунок 2. – Двумерные СТМ-изображения поверхности МЕН-PPV.

Красный лазер включается в точках 1 и выключается в точках 2, зеленый лазер включается в точках 3 и выключается в точках 4.

Таким образом, обнаружено влияние освещения на СТМ-изображения поверхности пленок МЕН-PPV, что создает принципиальную возможность применения фото-СТМ для наномасштабного фазового анализа композитных пленок, имеющих в составе фазы, поглощающие свет разных спектральных диапазонов.

#### Список использованных источников

1. Лаппо А.Н., Мисевич А.В., Почтенный А.Е. Фотоэлектрические свойства гетероструктуры фталоцианин-периленовый пигмент // Физико-математические науки: материалы 83-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–14 февр. 2019 г. БГТУ. Минск, 2019. С. 7.
2. Grafström, S. Photoassisted scanning tunneling microscopy / S. Grafström // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 91. – P. 1717–1753.

**Михалкович О.М.<sup>1</sup>, Барайшук С.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Куликаускас В.С.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., ВНС.**

**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный педагогический  
университет имени Максима Танка»,  
Минск, Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>3</sup>УО «Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики  
им. Д.В. Скобельцына», Москва, Россия**

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ СИСТЕМ Мо ПЛЕНКА/СТЕКЛО, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ОПАСИ**

К перспективным методам модифицирования свойств поверхности относится осаждение пленок при ассистировании собственными ионами (ОПАСИ), т.е. ассистирование осуществляется ионами наносимого элемента. Пленка молибдена, нанесенная на стекло методом ОПАСИ, используется в качестве тыльного контакта в структуре солнечных элементов [1].

В работе проводилось осаждение молибдена на стеклянную подложку при различных условиях (ускоряющий потенциал: 5 и 10 кВ, плотность ионного тока: 50–100 мкА/см<sup>2</sup>, время нанесения: 4 и 5 часов). В качестве подложки использовали нитриново-кальциевое стекло от фотопластинок СП-1, очищенное от эмульсии. Таким образом, варьируя параметрами нанесения, осаждали пленки различной толщины. В результате получались пленки толщиной 20–50 нм.

Композиционный состав систем пленка/стекло устанавливали, используя резерфордовское обратное рассеяние (РОР) ионов  $\text{He}^+$  с энергией 1,7 МэВ ( $\Delta E = 25$  кэВ) и геометрией рассеяния  $\theta_1 = 0^\circ$ ,  $\theta_2 = 20^\circ$ ,  $\theta_3 = 160^\circ$ , и компьютерное моделирование экспериментальных спектров РОР по программе RUMP. Результаты послойного анализа состава сформированной методом ОПАСИ структуры молибденовая пленка/стекло представлены на рис. 1.

Анализируя полученные результаты, отметим, что на поверхности стекла формируется тонкая пленка молибдена толщиной 50 нм. В состав пленок кроме атомов самого наносимого металла входят

атомы О, С и Н, а также атомы Si, Na и Ca, появившиеся в пленке в процессе восходящей диффузии. Средняя концентрация атомов молибдена пленке составляет 6 ат %, и вблизи границы раздела пленка/стекло 0,2 ат %. На глубине максимального проникновения в подложку, составляющей порядка 160 нм молибден определяется с концентрацией 0,03 ат %. Концентрация атомов О в покрытии составляет 11 ат %, углерода – 20 ат %, водорода – 60 ат %. Атомы Na и Ca входят в состав покрытия лишь вблизи (~ 20 нм) границы раздела покрытие/подложка с концентрациями 1 ат % и 0,1 ат % соответственно. Кремний же входит в покрытие с концентрацией ~ 2 ат % по всей толщине. Аналогичные по составу покрытия были получены также при осаждении пленок различных металлов на кремний методом ОПАСИ [2]. Таким образом, этот метод позволяет получать пленки с хорошо воспроизводимым составом.

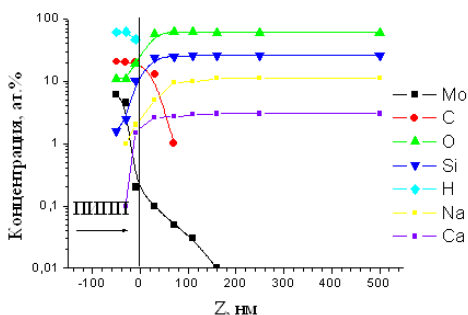


Рисунок 1 – Распределение элементов по глубине в структуре молибденовая пленка/стекло полученной методом ОПАСИ

Изучение морфологии поверхности образцов и определение ее шероховатости было выполнено на атомно-силовом микроскопе NT-206. Для исследования были выбраны площадки размером  $10 \times 10 \text{ мкм}^2$ . На рис. 2. представлены 3D-изображения морфологии поверхности исходного стекла и молибденовой пленки толщиной 50 нм, нанесенной на стекло методом ОПАСИ.

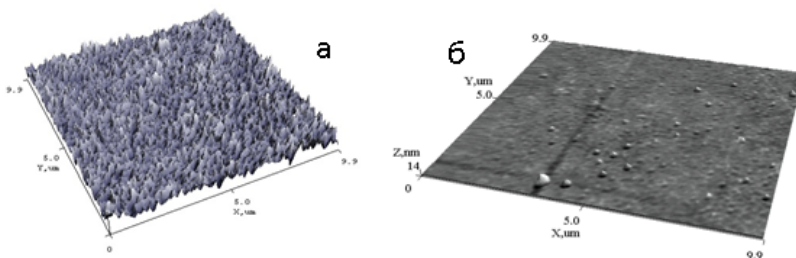


Рисунок 2 – 3D-изображение морфологии поверхности стекла (а) и Мо пленки (б) толщиной 50 нм, нанесенной на стекло методом ОПАСИ

Поверхность стекла представляет собой мелко-элементную морфологию со средней арифметической шероховатостью ( $R_a$ ) порядка 2,5 нм. Поверхность пленки высокого качества. Значение  $R_a$  при этом составляет 0,4 нм. Зависимость  $R_a$  поверхности систем пленка/подложка от толщины осажденной пленки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение  $R_a$  поверхности стекла и кремния, модифицированных осаждением молибденовой пленки методом ОПАСИ

|            | Стекло | Стекло с Мо пленкой |           |           | Si с Мо пленкой<br>$Z=120$ нм |
|------------|--------|---------------------|-----------|-----------|-------------------------------|
|            |        | $Z=20$ нм           | $Z=30$ нм | $Z=50$ нм |                               |
| $R_a$ , нм | 2,54   | 1,57                | 0,89      | 0,42      | 0,28                          |

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (№ГР 20211394).

#### Список использованных источников

1. Ташлыков, И.С. Свойства поверхности системы Мо/подложка, формируемой при ионном ассистировании / И.С. Ташлыков, А.И. Туровец // ВИТТ-2013. – Минск, 2013. – С. 314–316.
2. Михалкович, О.М. Дефектообразование в кремнии при ионно-ассистированном нанесении тонких пленок / О.М. Михалкович, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук / ФТТ-2007. – Минск, 2007. – С. 80–82.



**Несенчук А.А., к.т.н., доцент**  
**Объединенный институт проблем информатики**  
**НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь**  
**КОНФИГУРИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ**  
**ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Рассматриваются динамические системы, параметры которых непредсказуемо изменяются в процессе функционирования. Это приводит к неопределенности коэффициентов характеристического уравнения, описывающего динамику системы. При синтезе подобных систем возникает задача расчета интервалов значений этих коэффициентов, в пределах которых система сохраняет устойчивость, т.е. является робастной [1]. Задача решается посредством конфигурирования поля свободных корневых траекторий системы [2].

Динамические свойства системы описываются уравнением вида

$$s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = p(s), \quad (1)$$

где  $a_j \in [\underline{a}_j, \overline{a}_j], j = 1, \dots, 3, s = \sigma + i\omega$ .

Уравнения свободного корневого годографа и параметра на границе асимптотической устойчивости [2] определяются соответственно выражениями

$$\omega^3 - a_2 \omega = 0, \quad (2)$$

$$a_1 \omega^2 = a_3. \quad (3)$$

Корневой портрет системы рассматривается как множество полей корневых траекторий, среди которых выделяется доминирующее поле  $F_d$ , устойчивость которого гарантирует устойчивость всего семейства в целом. На основе установленных закономерностей динамики и конфигурации годографов, а также выражений (2) и (3) определяется функция доминирующего поля

$$f_d(\sigma, \omega) = \omega^2 - 3\sigma^2 - 2\underline{a}_1 \sigma \quad (4)$$

и формулируется условие устойчивости.

*Условие устойчивости.* Семейство характеристических полиномов (1) динамической системы является асимптотически устойчивым, если доминирующее поле  $F_d$  системы (доминирующий корневой годограф  $h_d$  системы) располагается в левой полуплоскости корней  $s$ .

Конфигурирование области устойчивости (доминирующего поля) осуществляется путем расчета и настройки параметров

(синтеза) семейства (1) согласно данному методу, что выполняется, как правило, посредством определения (настройки) значений параметров  $a_2$  и  $a_3$  в соответствии со следующими условиями:

$$0 < a_3 < \min(a_3(c_i)), a_2(c_m) < a_2 < a_2(c_i), \quad (5)$$

где  $a_3(c_i)$ ,  $a_2(c_i)$  – соответственно значение коэффициентов  $a_3$  и  $a_2$  в определенной точке  $c_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , пересечения границы устойчивости  $i$ -й линией уровня доминирующего поля  $F_d$ .

При необходимости выполняется также настройка параметра  $a_1$ .

Разработан алгоритм конфигурирования области устойчивости системы.

В качестве примера расчета рассматривается система с характеристическим полиномом

$$s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = p(s)$$

при условии, что  $a_1 \in [10, 20]$ ,  $a_2 \in [5, 25]$ ,  $a_3 \in [130, 250]$ .

Формируется корневая полевая математическая модель динамики данной системы и определяются соответствующие выражения для вычисления значений параметров  $a_2$  и  $a_3$  на основе (2) – (5). Проверка системы на устойчивость показала, что система неустойчива. Это подтверждается также графическим построением доминирующего поля, которое частично располагается в правой полуплоскости  $s$ . Поэтому, выполняется перемещение доминирующего поля в левую полуплоскость корней  $s$  посредством вычисления новых значений параметров  $a_2$  и  $a_3$  на основе условия (5).

Результат конфигурирования области устойчивости показан на рисунке 1. На рисунке 1 область устойчивости  $F_d = abcd$  полностью располагается в левой полуплоскости корней системы. Значения параметров после настройки следующие:

$$\underline{a}_1 = 10, \bar{a}_1 = 20, \underline{a}_2 = 10, \bar{a}_2 = 25, \underline{a}_3 = 20, \bar{a}_3 = 70.$$

Разработанный метод позволяет выполнять анализ и параметрический синтез робастно устойчивых систем по их графическому корневому портрету путем конфигурирования доминирующего поля корневых траекторий в плоскости корней. Метод также может быть использован для ориентации области корней системы в плоскости корней определенным образом, что позволяет обеспечить желаемое робастное качество. Результаты работы могут быть применены при проведении процедур синтеза робастных систем управления различными техническими объектами, в том числе функционирующими в нестабильных условиях окружающей среды.

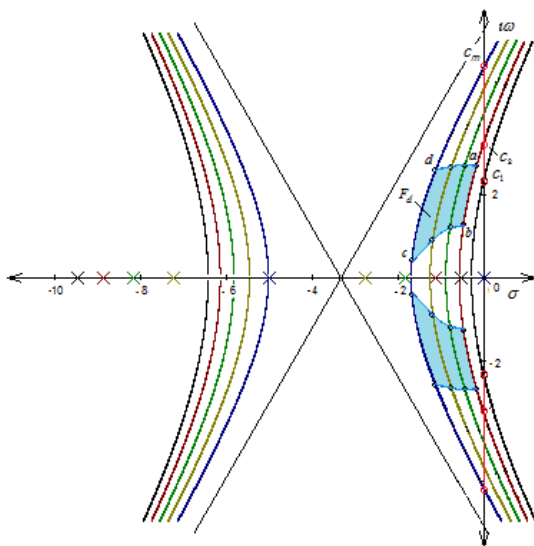


Рисунок 1 – Поле корневых траекторий полинома  $s^3 + 10s^2 + a_2s + a_3 = p(s)$  при  $a_2 \in [5, 25]$ ,  $a_3 \in [-\infty, +\infty]$  и доминирующее поле  $F_d = abcd$  устойчивое при  $a_2 \in [10, 25]$ ,  $a_3 \in [70, 20]$

#### Список использованных источников

1. Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. – Мн: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

**Никитин А.В., Лановский Р.А., Бушинский М.В.**  
**Государственное научно-производственное объединение**  
**“Научно-практический центр Национальной академии наук**  
**Беларуси по материаловедению”, Минск, Беларусь**  
**ПОЛУЧЕНИЕ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ**  
**ТИТАНАТОВ СТРОНЦИЯ  $SR_{1-x}LN_xTiO_3$**

Теплота, выделяющаяся в окружающую среду при работе промышленных предприятий, предприятий АПК и автотранспорта, может быть непосредственно и эффективно преобразована в электри-

ческую энергию при помощи термоэлектрогенераторов. Для создания последних необходимы термоэлектрические материалы, обладающие одновременно высокой электропроводностью и термоэдс и низкой теплопроводностью [1]. Для создания термоэлектрических устройств различного типа необходимы материалы, характеризующиеся проводимостью как n-, так и p-типа. Перспективной основой для разработки первых являются перовскитные плюмбаты бария-стронция, замещенные манганиты кальция и титаниты стронция, а последних – твердые растворы на основе перовскитных кобальтитов редкоземельных элементов (РЗЭ), а также слоистых кобальтитов натрия и кальция.

В последнее время в качестве наиболее перспективной основы для разработки оксидных термоэлектриков n-типа рассматривается редкоземельные оксиды титана со структурой перовскита, поскольку их производные характеризуются высокими термоэлектрическими показателями, относительно низкой стоимостью и устойчивостью на воздухе при повышенных температурах [2].

Термоэлектрические характеристики керамики на основе твердых растворов редкоземельных оксидов титана могут быть значительно улучшены путем варьирования ее термической предыстории (спекание под давлением, плазменно-дуговое спекание и др.), а также при частичном замещении катионов стронция или титана.

Исходный состав  $\text{SrTiO}_3$  представляет собой типичный кубический перовскит  $\text{ABO}_3$  (пр. гр:  $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ ) с параметром решетки  $a = 3.904 \text{ \AA}$  [3]. Свойства соединения  $\text{SrTiO}_3$  в значительной степени зависят от легирования различными элементами и от методов синтеза, которые вызывают различную модуляцию структуры.

Поликристаллические образцы составов  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  ( $\text{Ln}$ : La, Pr;  $x$ : 0,05; 0,075; 0,1) были приготовлены из предварительно высушенных при  $1000^\circ\text{C}$  на воздухе оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  и  $\text{TiO}_2$ , а также карбоната стронция  $\text{SrCO}_3$  чистотой не ниже 99,9%, смешанные в стехиометрическом соотношении с использованием планетарной шаровой мельницы RETSCH PM-100. Предварительный отжиг проводился при  $1000^\circ\text{C}$ . Образцы  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  были синтезированы при  $T = 1300^\circ\text{C}$  в течение 10 ч на воздухе. Все образцы охлаждались со скоростью  $100^\circ\text{C}$  в час. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3М. Обработка спектров проводилась с помощью программного комплекса FullProf.

Рентгеноструктурные исследования, проведенные при комнатной температуре, показали фазовую однородность во всех диапазонах  $x$  для образцов  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  (Ln: La, Pr;  $x$ : 0,05; 0,075; 0,1) (рис. 1).

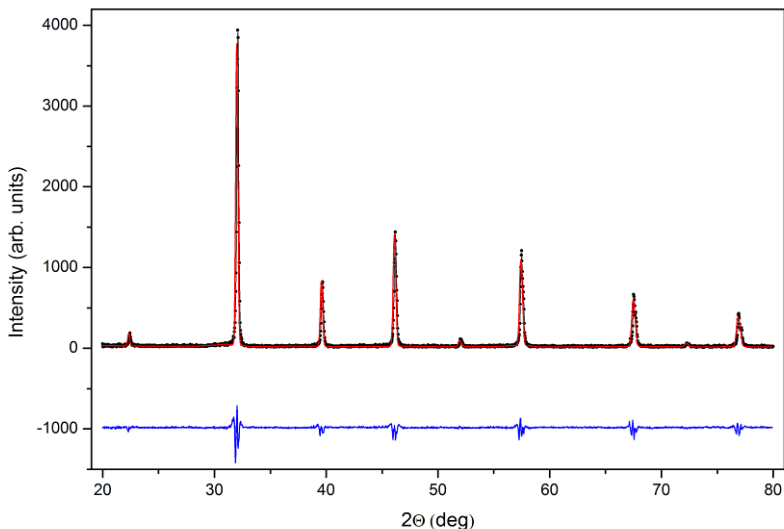


Рисунок 1 – Рассчитанные и экспериментально определенные дифракционные спектры состава  $\text{Sr}_{0.95}\text{Pr}_{0.05}\text{TiO}_3$  при  $T = 300 \text{ K}$ .

Нижняя кривая показывает их разность.

Параметры кристаллических решеток всех полученных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Список параметров элементарных ячеек для всего ряда исследованных твёрдых растворов

| образец                                          | $T_{\text{(синтеза)}}, ^\circ\text{C}$ | $a, b, c, \text{\AA}$ | $V, \text{\AA}^3$ |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| $\text{Sr}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{TiO}_3$   | 1300                                   | 3,90203               | 59,41167          |
| $\text{Sr}_{0.925}\text{La}_{0.075}\text{TiO}_3$ | 1300                                   | 3,90291               | 59,45188          |
| $\text{Sr}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{TiO}_3$     | 1300                                   | 3,90365               | 59,48571          |
| $\text{Sr}_{0.95}\text{Pr}_{0.05}\text{TiO}_3$   | 1300                                   | 3,90080               | 59,35551          |
| $\text{Sr}_{0.925}\text{Pr}_{0.075}\text{TiO}_3$ | 1300                                   | 3,90136               | 59,38108          |
| $\text{Sr}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}\text{TiO}_3$     | 1300                                   | 3,90003               | 59,32037          |

Рентгеноструктурные исследования показали, что все составы серии  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  (Ln: La, Pr; x: 0,05; 0,075; 0,1) кристаллизуются в структуре перовскита и характеризуются кубической элементарной ячейкой (пространственная группа  $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ ).

Список использованных источников

1. Lin, Y.H. Oxide Thermoelectric Materials / Y.H. Lin, J. Lan, C. Nan // Wiley-VCH. – 2019.
2. Kovalevsky, A.V. Towards a high thermoelectric performance in rare-earth substituted  $\text{SrTiO}_3$ : effects provided by strongly reducing sintering conditions / A.V. Kovalevsky, A.A. Yaremchenko, S. Populoh, P. Thiel, D.P. Fagg, A. Weidenkaff, J. R. Frade // Phys. Chem. – 2014. – 16. – pp 26946–26954.
3. Koumoto, K. Oxide thermoelectric materials: a nanostructuring approach / K. Koumoto, Y. Wang, R. Zhang, A. Kosuga, R. Funahashi, // Annual review of materials research. – 2010. – 40. – pp 363–394.

**Сергиевич О.А.<sup>1</sup>, к.т.н., Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Шевченко А.А.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,**

**<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», г. Минск,**

**<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный  
аграрный технический университет», г. Минск**

## **КЕРАМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТАНОВОК АПК**

Электроизоляционные материалы в зависимости от областей применения и конструкции подразделяют на линейные (подвесные, стержневые, штырьевые), стационарные (опорные, опорно-штырьевые, стержневые, проходные и др.). Керамические (фарфоровые) изоляторы используются для изоляции и крепления проводов на воздушных линиях электропередач и в распределительных устройствах электростанций, подстанций. В АПК к электроизоляционным материалам предъявляют высокие требования по механической прочности, стойкости к термоударам и теплопроводности. При эксплуатации в условиях высоких температур (свыше 1000 °С), агрессивных сред и ионизирующих излучений керамические изоляторы являются единственно пригодными [1].

Таким образом, представляет научно-практический интерес получение электроизоляционных материалов на основе системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--R}_x\text{O}_y$  с использованием модификаторов ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaF}_2$ ), способствующих активации процессов спекания и фазообразования.

Основной целью данной работы является разработка составов и технологических параметров получения керамических электроизоляционных материалов на основе промышленных порошков оксидов, природных минеральных веществ и наполнителей, а также исследование их эксплуатационных характеристик.

На основании литературных данных [1] установлено, что для синтеза электроизоляционных изделий представляет интерес корундовая или высокоглиноземистая керамика с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менее 70 %. В качестве исходных сырьевых материалов использовались, %: глина огнеупорная Веселовского месторождения (ТУ 14.2–00282049–001–2002), технический глинозем ГК–2 (ГОСТ 30998), карбонат бария (ГОСТ 2149), карбонат стронция (ТУ 95–2326), карбонат магния (ГОСТ 6419), борная кислота ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (ГОСТ 18704), фтористый кальций ( $\text{CaF}_2$ ) и химические реактивы (марки х.ч.). Опытные образцы изготавливались традиционным методом полусухого двухступенчатого прессования при давлении 20–30 МПа с последующей сушкой и обжигом в электрической печи в температурном интервале 1325–1375°C и выдержкой 1 ч.

Результаты измерения физико-химических свойств (водопоглощения,  $V$ , %, открытой пористости  $\Pi_o$ , % и кажущейся плотности  $\rho$ ,  $\text{кг/м}^3$ ) опытных образцов при различных температурах обжига представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели физико-химических свойств образцов

| Индекс состава | Температура обжига, °C |             |                          |         |             |                          |         |             |                          |
|----------------|------------------------|-------------|--------------------------|---------|-------------|--------------------------|---------|-------------|--------------------------|
|                | 1325                   |             |                          | 1350    |             |                          | 1375    |             |                          |
|                | $V$ , %                | $\Pi_o$ , % | $\rho$ , $\text{кг/м}^3$ | $V$ , % | $\Pi_o$ , % | $\rho$ , $\text{кг/м}^3$ | $V$ , % | $\Pi_o$ , % | $\rho$ , $\text{кг/м}^3$ |
| 1              | 12,26                  | 28,74       | 2343,7                   | 0,08    | 1,55        | 2573,1                   | 0,36    | 0,98        | 3036,9                   |
| 2              | 15,14                  | 35,11       | 2228,3                   | 0,09    | 0,64        | 2328,3                   | 0,42    | 1,06        | 2682,2                   |
| 3              | 9,6                    | 24,16       | 2319,5                   | 0,15    | 0,37        | 2529,0                   | 0,17    | 0,43        | 2664,9                   |
| 4              | 15,35                  | 27,71       | 1803,8                   | 3,88    | 9,16        | 1995,0                   | 0,54    | 1,34        | 2365,3                   |
| 5              | 13,89                  | 41,73       | 1941,3                   | 9,4     | 16,73       | 1941,3                   | 5,04    | 10,77       | 2265,4                   |
| 6              | 24,31                  | 45,79       | 1883,5                   | 11,2    | 22,19       | 1982,6                   | 8,06    | 20,06       | 2089,4                   |

Анализируя полученные результаты установлено, введение модифицирующей добавки SrO снижает водопоглощение, а BaO незначительно повышает данный показатель.

Для всех составов характерно резкое снижение значения водопоглощения при повышении температуры обжига с 1325 до 1350 °С с увеличением количества расплава. Характерно резкое снижение значений открытой пористости при 1350 °С с дальнейшим небольшим увеличением при 1375 °С.

Средние значения показателей температурного коэффициента линейного расширения синтезированных при 1350 °С образцов при температуре измерения 300 °С составили  $(4,6-5,8) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

Исследования на химическую стойкость опытных образцов показали их хорошую устойчивость к химическим воздействиям  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и NaOH. Следует отметить, что опытные образцы противостоят воздействию щелочи лучше (98,4–99,8%), чем кислоты (96,1–99,2%). Образцы с BaO имеют более высокую химическую устойчивость.

Рентгенофазовый анализ синтезированных при 1350 °С опытных образцов проводился на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). Фазовый состав образца оптимального состава представлен кристаллическими фазами корунда ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), при этом муллита содержится намного меньше, чем корунда, обеспечивающего высокую химическую стойкость, твердость, механическую прочность и огнеупорность.

Оптические снимки поверхности опытных образцов исследовались с помощью оптического микроскопа со встроенной аналогово-цифровой фотокамерой Leica DFC 280 (Германия). Для получения снимков были взяты образцы оптимального состава, обожженные при температурах 1325 и 1375 °С (рисунок 1).

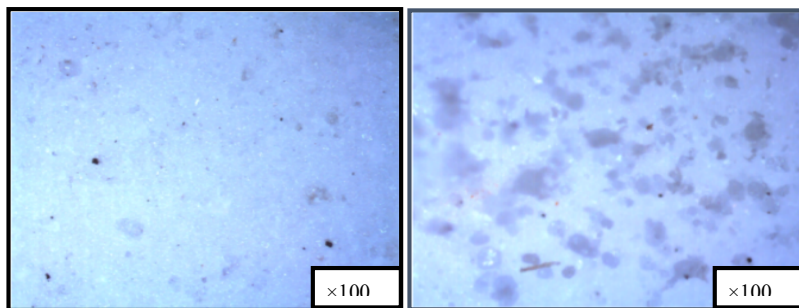


Рисунок 1 – Оптическое изображение поверхности образцов оптимального состава, синтезированных при 1325 (а) и 1375 °С (б)



На рисунке 1 видно, что структура опытных образцов однородна, отчетливо видны кристаллы кварца и железосодержащих фаз.

Разработанные электроизоляционные керамические материалы оптимального состава характеризуются следующими свойствами: водопоглощением 0,15–9,2 %, открытой пористостью 0,37–24,1 %, кажущейся плотностью 2319,5–2529,0 кг/м<sup>3</sup>, температурным коэффициентом линейного расширения при 300 °С –  $(4,6\text{--}5,8) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , химической устойчивостью к щелочам – (98,4–99,8) %, к кислотам – (96,1–99,2) %, удельном объемным электрическим сопротивлением при 100 °С –  $10^{13}\text{--}10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , пробивной напряженностью 30–34 кВ/мм,  $T_E$  – 790–840 °С.

Список использованных источников

1. Масленникова, Г.Н. Технология электрокерамики / Г.Н. Масленникова. – М. : «Энергия», 1974 – 224 с.

**Слонская С.В., к.х.н., доцент; Лубинский Н.Н., к.х.н.  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ТВЕРДОГО РАСТВОРА ОРТОФЕРРИТА  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$**

Ферриты типа  $\text{RFeO}_3$ , где R- ионы  $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{La}^{3+}$  и других редкоземельных элементов, кристаллизуются в структуре искаженного перовскита. В литературе, особенно в области физики магнитных явлений, их часто называют ортоферритами, рассматривая как соли ортокислоты  $\text{H}_3\text{FeO}_3$ . Наиболее подробно изучены их кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства. Установлено, что ортоферриты редкоземельных элементов обладают слабым ферромагнетизмом. Они являются неколлинеарными антиферромагнетиками, температуры Нея которых заключены в интервале 620–720 К. У некоторых из них при определенной температуре происходит спин-переориентационный переход, т.е. изменение оси легкого намагничивания от оси *a* к оси *c*, или переориентационный переход от слабоферромагнитного состояния в антиферромагнитное состояние (переход типа Морина). Некоторое время считалось, что наличие самопроизвольной намагниченности у ортоферритов редкозе-

мельных элементов и  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  обусловлено присутствием различных примесей и дефектов кристаллической решетки. Однако затем теоретически и экспериментально было показано, что слабый спонтанный ферромагнетизм таких антиферромагнитных кристаллов как  $\text{CoCO}_3$ ,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , ортоферритов  $\text{RFeO}_3$  является врожденным свойством и обусловлен отклонением спинов от строгой антипараллельности. Наиболее интенсивно магнитные и магнитооптические свойства ортоферритов редкоземельных элементов изучались в 70<sup>ые</sup> годы XX века в связи со специфической у них и у одноосных ферритов-гранатов доменной структуры, на основе которой были созданы принципиально новые запоминающие устройства, носителями информации которых являются подвижные магнитные домены цилиндрической формы микронных размеров. Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства ортоферритов щелочноземельных элементов  $\text{AFeO}_{3-\delta}$  ( $\text{A}=\text{Ca}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}$ ) зависят от величины стехиометрического коэффициента ( $3-\delta$ ) содержания кислорода, который может меняться в интервале 2,5-3,0 [1]. Феррит стронция  $\text{SrFeO}_{2,5}$  ( $\text{SrO}\cdot 0,5\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) имеет кристаллическую орторомбическую структуру типа браунмиллера ( $\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$ ) и его химическая формула записывается как  $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ , ( $2\text{Sr}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_{2,5}$ ). Согласно [1] ортоферрит  $\text{SrFeO}_{2,5}$  ( $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) со структурой браунмиллерита получается при обжиге на воздухе смеси порошков ( $2\text{SrCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) при температурах выше 1473 К. Феррит стронция  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  при значениях кислородного коэффициента ( $3-\delta$ ) в интервале 2,72-3,0 имеет структуру перовскита, искажение которого и соотношение концентраций ионов  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  зависит от кислородной нестехиометрии, которая в свою очередь зависит от температуры и парциального давления кислорода [1]. Наиболее интенсивно физико-химические свойства твердых растворов со структурой перовскита на основе феррита  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  и кобальтита  $\text{SrCoO}_{3-\delta}$  стронция стали исследоваться после обнаружения у них большой кислород-ионной проницаемости и магнитосопротивления. Установлено, что твердые растворы  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  являются перспективными материалами для изготовления керамических кислородпроницаемых мембран [2] и запоминающих устройств магниторезистивного типа. В связи с этим опубликовано значительное число работ, посвященных изучению электронной и ионной электропроводности, магнитных и дру-

гих свойств твердых растворов систем  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  [3]  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$  [4] со структурой перовскита, в которых проведено соответственно частичное гетеровалентное замещение ионов  $\text{La}^{3+}$  ионами стронция  $\text{Sr}^{2+}$  и изовалентное замещение ионов железа  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Co}^{4+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$  находящихся в различных спиновых состояниях. При гетеровалентном частичном замещении ионов  $\text{La}^{3+}$  ионами  $\text{Sr}^{2+}$  в феррите  $\text{LaFeO}_3$  согласно условию электронейтральности эквивалентная часть ионов  $\text{Fe}^{3+}$  переходит в  $\text{Fe}^{4+}$ , что и приводит к существенному изменению электрических и магнитных свойств. При образовании твердых растворов  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  на основе феррита  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  частичное замещение ионов  $\text{Sr}^{2+}$  ионами  $\text{La}^{3+}$  приводит в железной подрешетке к переходу эквивалентного количества ионов  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ . Для того, чтобы такой переход  $\text{Fe}^{4+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$  не происходил, в феррите  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  со структурой перовскита наряду с гетеровалентным замещением ионов  $\text{Sr}^{2+}$  ионами  $\text{La}^{3+}$ , необходимо провести гетеровалентное замещение ионов  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ионами двухвалентных металлов ( $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ). Феррит стронция  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  со структурой магнетоплюмбита является магнитотвердым ферри-магнетиком и из него изготавливают керамические постоянные магниты, широко используемые в различных областях науки и техники. До недавнего времени величина энергетического произведения  $(\text{BH})_{\text{макс}}$  керамических анизотропных постоянных магнитов не превышало  $37 \text{ кДж/м}^3$ . Однако в 1997 г. появилось сообщение [5], в котором показано, что твердый раствор  $\text{Sr}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{Fe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$  позволяет изготавливать керамические постоянные магниты с величиной  $(\text{BH})_{\text{макс}} = 41 \text{ кДж/м}^3$ . Известно, что синтез феррита стронция  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  при нагревании смеси порошков ( $\text{SrCO}_3 + 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) при температурах 1300-1500 К протекает через промежуточную стадию образования ортоферрита стронция  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ , взаимодействие которого с оксидом  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и приводит к образованию  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Вероятно, синтез твердого раствора  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{M}_x\text{O}_{19}$  (M-  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ) со структурой магнетоплюмбита можно также провести, если взять в качестве прекурсора твердый раствор  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$  со структурой перовскита или браунмиллерита. В связи с этим планируется изучить физико-химические свойства твердых растворов  $\text{Sr}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{Fe}_{0,7}\text{M}_{0,3}\text{O}_{3-\delta}$  (M-  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , (MnZn), (MnCo), (CoZn), полученных керамическим методом.

#### Список использованных источников

1. Takeda, Y. Phase Relation in the Oxygen Nonstoichiometric System,  $\text{SrFeO}_x$  ( $2.5 \leq x \leq 3.0$ ) / Y. Takeda et al. // J. of Solid State Chemistry. – 1986. – Vol.63. – P. 237–249
2. Teraoka, Y. Oxygen permeation through perovskite-type oxides / Y. Teraoka et al. // Chem. Lett. – 1985. – P. 1743–1746.
3. Bahteeva, J.A. High-temperature ione transport in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  / J.A. Bahteeva et al. // J. Solid State Electrochem. – 2004. – Vol.8. – P. 578–584.
4. Maignan, A. Magnetoresistance in the ferromagnetic metallic perovskite  $\text{Sr}_x\text{FeCo}_x\text{O}_8$  / A. Maignan et al. // Solid State Sciences. – 2001. – Vol.3. – P. 57–63.
5. Taguchi, T. High Energy Ferrite Magnets / T. Taguchi et al. // Supplement au Journal de Physique III de mars. – 1997. – P. C1-311–C1-312.

**Тульев В.В., к.ф.-м.н., доцент**

**Белорусский государственный технологический университет,**

**Минск, Республика Беларусь**

#### **ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СТРУКТУР $\text{Me}/\text{Al}$ , ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ**

Ионно-лучевые технологии являются перспективными методами модифицирования свойств поверхности материалов [1, 2]. В процессе модифицирования в поверхностных слоях происходят сложные физико-химические процессы способные существенно изменить структуру и свойства поверхности [1, 2]. Изучение процессов, протекающих на поверхности при осаждении металлсодержащих покрытий в условиях ионного ассистирования, представляется важным для определения оптимальных условий получения покрытий с необходимыми свойствами. В работе предпринята попытка установить закономерности процессов взаимопроникновения элементов подложки и покрытия при осаждении тонких металлсодержащих покрытий и установления характера распределения элементов в приповерхностных слоях модифицированных образцов.

В данной работе на подложку из алюминия осаждались покрытия на основе Mo и W при ускоряющем напряжении  $U = 7, 15, 20$  кВ и

плотности ионного тока  $\sim 4\text{--}6 \text{ мкА/см}^2$ . Интегральный поток ассистирующих ионов составлял  $2 \cdot 10^{16} \text{ ион/см}^2$ . В рабочей камере в процессе осаждения поддерживался вакуум  $\sim 10^{-2} \text{ Па}$ .

Изучение поверхности сформированных структур проходило методом резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия. На основе метода РОР был определен элементный состав покрытий. Распределение элементов по глубине в приповерхностном слое строилось на основе данных РОР с использованием компьютерного моделирования.

Среднее зарядовое число  $Q^*$  в ионном пучке рассчитывалось по методике [3]. По среднему зарядовому числу определялась средняя энергия  $E_i$  ассистирующих ионов, величина которой была использована для расчета среднего проективного пробега  $R_p$  и страгглинга пробега  $\Delta R_p$  ионов  $\text{Mo}^+$ ,  $\text{W}^+$  в алюминии и коэффициентов распыления алюминия  $S_{\text{Al}}$  и металла  $S_{\text{Me}}$  ионами.

Спектры РОР ионов гелия от образца из образца из алюминия после осаждения покрытий на основе Мо при различных ускоряющих напряжениях  $U$  представлены на рисунке. На спектрах РОР полученных от Мо/Al-структур наблюдается сдвиг сигнала от атомов Al в сторону меньших каналов, что свидетельствует о наличии покрытия на поверхности образцов. Наблюдается изменение наклона сигнала от алюминия в области 110–120 каналов (спектры 2 и 3, рисунок) по сравнению со спектром от Al (спектры 1, рисунок). Изменение наклона сигнала от атомов Al происходит вследствие взаимопроникновения атомов покрытия и подложки при ионно-ассистируемом осаждении. Это свидетельствует о встречной диффузии атомов Al в покрытие и о диффузии атомов Мо (основы покрытия) в подложку. Изменение наклона сигнала от подложки на спектрах РОР структур Мо/Al- и W/Al-структур также говорит о различной глубине взаимопроникновения атомов покрытия и подложки.

Кроме этого на спектрах РОР от модифицированных образцов наблюдаются сигналы от атомов технологических примесей –

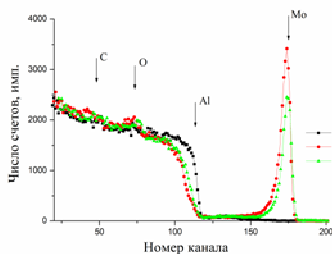


Рисунок – Спектры РОР ионов гелия от Al (1) и Mo/Al-структур (2, 3):  
2 –  $U = 15 \text{ кВ}$ , 3 –  $U = 20 \text{ кВ}$

кислорода и углерода [2]. Появление С и О в покрытиях связано со спецификой работы ионного источника вакуумно-электродуговой плазмы. Источником С и О в осажденных покрытиях являются остаточные газы в вакуумной камере [2].

По спектрам РОР от алюминиевых образцов, до и после осаждения покрытий, были рассчитаны слоевые концентрации элементов покрытия. Данные приведены в таблице. Анализ слоевых концентрациях элементов сформированных покрытий показывает, что наибольшее количество молибдена и вольфрама в Mo/Al- и W/Al-структурах наблюдается при наименьшей энергии ассистирующих ионов ( $U = 7$  кВ). Содержание атомов металла в покрытиях уменьшается при возрастании ускоряющего напряжения  $U$ , что можно объяснить ростом распыления формирующегося слоя при увеличении энергии ассистирующих ионов.

Анализируя содержание остальных элементов покрытия (С, О, Al) в модифицированных образцах, можно отметить, что при осаждении покрытий на основе Mo и W содержание углерода, кислорода и алюминия в модифицированных образцах по сравнению с исходным образцом уменьшается по мере увеличения ускоряющего напряжения  $U$ . Мы объясняем наблюдаемый эффект усилением распыления поверхности с ростом энергии ассистирующих ионов.

Таблица – Слойные концентрации элементов в Mo/Al и W/Al

| Структура | $U$ , кВ | Слойная концентрация компонентов, $10^{16}$ ат/см <sup>2</sup> |      |     |     |     |
|-----------|----------|----------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|
|           |          | С                                                              | О    | Al  | Mo  | W   |
| Al        | –        | 14,0                                                           | 2,5  | –   | –   | –   |
| Mo/Al     | 7        | 10,5                                                           | 11,0 | 2,8 | 3,5 | –   |
|           | 15       | 8,6                                                            | 8,8  | 1,6 | 2,7 | –   |
|           | 20       | 5,0                                                            | 5,5  | 1,4 | 1,8 | –   |
| W/Al      | 7        | 14,0                                                           | 6,0  | 1,8 | –   | 2,5 |
|           | 15       | 7,1                                                            | 4,3  | 1,1 | –   | 1,5 |
|           | 20       | 2,8                                                            | 3,1  | 0,7 | –   | 0,8 |

При осаждении покрытий на основе Mo и W содержание кислорода в сформированных покрытиях выше, чем в исходном образце, хотя и уменьшается с ростом энергии ассистирующих ионов. В то же время содержания углерода в сформированных

покрытиях меньше, чем в исходном образце. При сравнении содержания кислорода в Mo/Al- и W/Al-структурах, полученных в одинаковых условиях, необходимо отметить, что количество кислорода больше в структурах Mo/Al. Установленное различие можно, по-видимому, связать с разной химической активностью Mo и W по отношению к кислороду.

Список использованных источников

1. Структура, термостойкость и микротвердость покрытий  $ZrO_2$ , полученных разными методами / С.Г. Валюхов [и др.] // Неорганические материалы. – 2016. – Т. 52. – № 4. – С. 457–463.

2. Анализ ядерно-физическими методами состава покрытий, нанесенных на Al осаждением Zr и W при одновременном облучении одноименными ионами / В.В. Тульев [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1998. – № 4. – С. 33–36.

3. Implantation of titanium, chromium, yttrium, molybdenum, silver, hafnium, tantalum, tungsten and platinum ions generated by a metal vapour vacuum ion source into 440C stainless steel / J. Sasaki [et. al.] // Surf. Coat. Technol. – 1992. – Vol. 51. – P. 166–175.

**Чобот А.Н.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., Латушко С.И.<sup>1</sup>, Желудкевич Д.В.<sup>1</sup>,  
Сиколенко В.В.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., Чобот Г.М.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Латушко Т.В.<sup>4</sup>, Карпинский Д.В.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н.**

**<sup>1</sup>ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск,  
Республика Беларусь**

**<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна,  
Россия**

**<sup>3</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**<sup>4</sup>УО «Белорусский государственный медицинский  
университет», Минск, Республика Беларусь**

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТВЕРДЫХ  
РАСТВОРОВ ФЕРРИТА ВИСМУТА  
С ИОНАМИ-ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ ЖЕЛЕЗА**

Одним из условий инновационного развития АПК является использование новых функциональных материалов с улучшенными

физическими свойствами. Благодаря уникальному сочетанию электрических и магнитных свойств материалы, относящиеся к классу мультиферроиков, являются предметом пристального внимания ученых-материаловедов. В этих материалах обнаружено одновременное сосуществование различных типов упорядочения. Как следствие этого, мультиферроики могут одновременно являться ферромагнетиками (либо антиферромагнетиками) и сегнетоэлектриками.

Наиболее известным мультиферроиком является феррит висмута. Этот материал обладает высокими температурами перехода в магнитоупорядоченное и сегнетоэлектрическое состояние [1-2]. Однако исходное соединение  $\text{BiFeO}_3$  имеет ряд существенных недостатков: этот состав характеризуется незначительной величиной остаточной намагниченности, обусловленной слабоферромагнитной структурой, а также обладает малой величиной магнитоэлектрического взаимодействия наряду с высокой проводимостью. Не менее известным мультиферроиком является соединение  $\text{BiMnO}_3$ . В отличие от феррита висмута, соединение  $\text{BiMnO}_3$  характеризуется низкотемпературным переходом в ферромагнитное состояние ( $T_c \sim 102$  K) и изменением кристаллической структуры при температуре  $T \sim 475$  K. При этом кристаллическая структура по-прежнему остается моноклинной. При температуре выше  $T \sim 770$  K соединение обладает неполярной орторомбической структурой. Магнитная структура  $\text{BiMnO}_3$  характеризуется положительными обменными взаимодействиями между ионами  $\text{Mn}^{3+}$ , характер которых существенно зависит от геометрии химических связей  $\text{Mn-O-Mn}$  [3]. Замещение ионов  $\text{Mn}^{3+}$  в соединении  $\text{BiMnO}_3$  на ионы  $\text{Fe}^{3+}$  приводит к увеличению температуры перехода в магнитоупорядоченное состояние. При этом усиливается антиферромагнитная компонента в обменных взаимодействиях между ионами  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Однако в настоящее время нет четкого понимания механизма изменений, происходящих в магнитной структуре этих составов при химическом замещении марганца ионами переходных металлов.

Соединения  $\text{BiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  были синтезированы из оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Составы с  $x=0.6-0.8$  получены на аппарате высокого давления при 5 ГПа и 1300 K. Составы с  $x=0.1-0.5$  получены при перемешивании оксидов в планетарной мельнице с последующим прессованием в таблетки и синтезом при температуре 1000 K в течение 4 часов.



Согласно структурным данным, полученным для образцов  $\text{BiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  с помощью нейтронного излучения, соединения с концентрацией ионов-заместителей  $x=0.1-0.3$  характеризуются однофазным структурным состоянием (моноклинная фаза, структура типа  $\text{BiMnO}_3$  (пространственная группа  $C2/c$ )) (рис. 1). Для  $\text{BiMn}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_3$  характерна моноклинная элементарная ячейка ( $a = 9.5379(5)$ ;  $b = 5.6167(3)$ ;  $c = 9.7400(5)$  и  $\beta = 108.460(3)$ ).

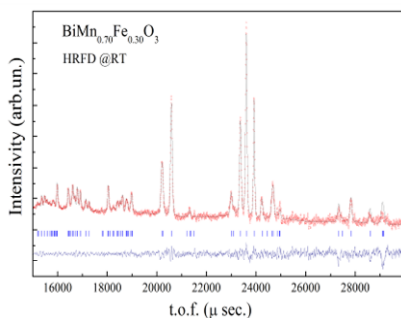


Рисунок 1 – Нейтронограмма соединения  $\text{BiMn}_{0.70}\text{Fe}_{0.30}\text{O}_3$

В структуре составов  $\text{BiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  с  $x=0.4-0.5$  преобладает орторомбическая фаза с характерным антиполярным смещением ионов висмута и марганца (пространственная группа  $Pnma$ ), а также присутствует незначительная ( $\sim 10-15\%$ ) часть моноклинной фазы. Соединения  $\text{BiMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  с  $x=0.6-0.8$  характеризуются однофазной орторомбической структурой (пространственная группа  $Pnma$ ) с орторомбической элементарной ячейкой  $a = 5.6072(3)$ ;  $b = 15.6173(9)$ ;  $c = 11.2444(7)$  (рис. 2). Эта структура является метастабильной.

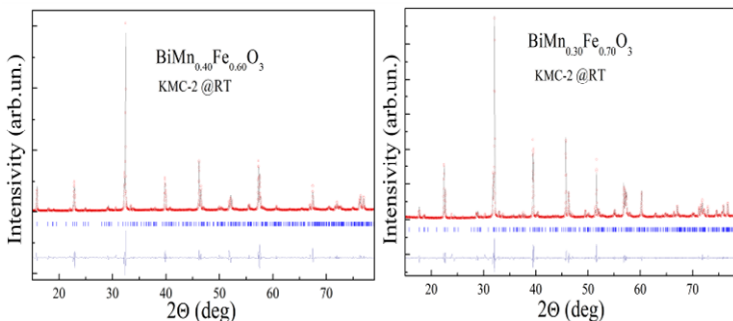


Рисунок 2 – Дифрактограммы соединений  $\text{BiMn}_{0.40}\text{Fe}_{0.60}\text{O}_3$  и  $\text{BiMn}_{0.30}\text{Fe}_{0.40}\text{O}_3$

Таким образом, нами установлено, что соединения  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{BiMnO}_3$  образуют твердые растворы во всем диапазоне составов. Новая орторомбическая ( $\sqrt{2}a_p \times 4a_p \times 2\sqrt{2}a_p$ ) фаза обнаружена между ромбоэдрическим  $\text{BiFeO}_3$  и моноклинным  $\text{BiMnO}_3$ .

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант №Т20Р-121) и РФФИ (грант № 20-52-00023).

#### Список использованных источников

1. Слабый ферромагнетизм в мультиферроиках на основе  $\text{BiFeO}_3$  / И.О. Троянчук [и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 2009. – Т. 89, №4. – С. 204–208.
2. Фазовые превращения в мультиферроиках  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  / И.О. Троянчук [и др.] // ФТТ. – 2016. – Т. 58, №9. – С. 1719–1723.
3. Crystal and Magnetic Structure Transitions in  $\text{BiMnO}_{3+\delta}$  Ceramics Driven by Cation Vacancies and Temperature / D.V. Karpinsky [et al.] // Materials. – 2021. – V. 14. – P. 5805.

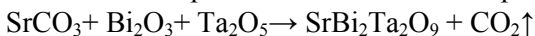
**Шевченко А.А., к.т.н., доцент**  
**Белорусский государственный аграрный технический**  
**университет, Минск, Республика Беларусь**  
**СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА**  
**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ  $\text{SR Bi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ**  
**ТОНКИХ ПЛЕНОК В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Тонкие сегнетоэлектрические пленки находят применение при создании устройств энергонезависимой памяти, конденсаторов, микроактюаторов, приемников инфракрасного излучения, оптических процессоров, волноводов и линий задержки, приборов на поверхностных акустических волнах и других акустооптических устройств. Однако практическое использование сегнетоэлектрических пленок в микроэлектронике сталкивается с серьезными трудностями из-за отсутствия совместимой технологии получения тонкопленочных сегнетоэлектрических материалов высокого качества с воспроизводимыми свойствами. И лишь в последнее десятилетие удалось добиться контролируемой совместимости тонких слоев сегнетоэлектриков с полупроводниковыми коммутационными мат-

рицами в рамках планарной технологии полупроводниковых приборов. Такая интеграция, с одной стороны, открывает возможность создания целого ряда новых устройств, а с другой – позволяет избежать дорогих и ненадежных гибридных конструкций.

Для получения сегнетоэлектрических пленок одним из важнейших этапов является изготовление высококачественных распыляемых мишеней. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния технологических параметров процесса синтеза, формования и последующего спекания распыляемых мишеней сегнетоэлектриков  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  на их микроструктуру и свойства.

Соединение  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  было получено методом твердофазного спекания смесей оксидов и карбонатов соответствующих металлов. Необходимое количество оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  и  $\text{SrCO}_3$  для синтеза сложнооксидного соединения номинального состава  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  определяли в соответствии с протеканием химической реакции:



Рассчитанное количество реагентов смешивали и измельчали в планетарной шаровой мельнице в течение 0,5 ч, в качестве дисперсионной среды использовался изопропиловый спирт. Синтез конечного продукта осуществлялся в две стадии. Первая стадия – медленный нагрев до температуры 690–750 °С и выдержка в течение 12 ч (два раза по 6 ч), после каждого раза образцы измельчали в мельнице. Вторая стадия – обжиг при температуре 800–815 °С в течение 20 ч с промежуточными перетирами после каждых 6 ч.

Результаты рентгенофазового анализа полученного синтезированного порошка состава  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  показали присутствие не более 3 % примесей. Экспериментальные образцы и мишени для вакуумного распыления из синтезированного порошка изготавливали при давлении  $P=500$  МПа и термообработывали на воздухе в интервале температур 1000–1300 °С.

Среди важнейших характеристик распыляемых мишеней, влияющих на параметры формируемых сегнетоэлектрических пленок, следует отметить физико-механические и электрофизические свойства. Причем, первые в значительной мере определяют и электро-теплофизические параметры.

Исследовано влияние режимов термообработки в интервале температур 1000–1300 °С на микроструктуру и свойства полученных экспериментальных образцов (таблица). Исследование микроструктуры (излома) образца сегнетокерамики, спеченного при 1100 °С показало достаточно высокую пористость (примерно 15 %), что является неприемлемым для мишеней, распыляемых в вакууме. Спекание данной керамики при температурах 1250–1300 °С практически не изменяло фазовый состав в объеме образца, однако с наружных поверхностей наблюдалось значительное уменьшение  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Получена высокоплотная микроструктура ( $\rho_{\text{отн}} \sim 96\%$ ) с преимущественно игольчатыми кристаллами шириной около 1 мкм и длиной 5–10 мкм. Промежутки между игольчатыми кристаллами были заполнены небольшими кристалликами до 1 мкм.

Анализ таблицы показывает, что с ростом температуры спекания от 1000 до 1300 °С относительная плотность керамики, спрессованной при  $P=500$  МПа, возрастает от 69 % до 98 %. Усадка по диаметру после спекания при температуре 1000 °С составляла 0,5 %, а после повторного спекания, при температуре 1300 °С – 17,5 %. Измерить микротвердость  $H_v$  и трещиностойкость  $K_{IC}$  экспериментального образца, спеченного при 1000 °С, 2 ч, не удалось вследствие его высокой пористости.

Таблица 1 – Влияние технологических режимов изготовления соединения  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT) на его физико-механические и диэлектрические свойства

| Соединение                                             | Тспекания                      | $\rho_{\text{отн.}}, \%$ | $H_v, \text{ ГПа}$ | $K_{IC}, \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ | $\varepsilon$ |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------------------------|---------------|
| $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$                   | 1000 °С, 2 ч                   | 69                       | –                  | –                                          | 90            |
| $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$                   | 1100 °С, 2 ч                   | 81                       | 3,04               | 1,4                                        | 109           |
| $\text{Sr}_{0,9}\text{Bi}_{2,05}\text{Ta}_2\text{O}_9$ | 1100 °С, 2 ч                   | –                        | 3,08               | 1,4                                        | –             |
| $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$                   | 1200 °С, 2 ч                   | 94                       | –                  | –                                          | 120           |
| $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$                   | 1250 °С, 5 ч                   | 96                       | 3,26               | 1,6                                        | 121           |
| $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$                   | 1000 °С, 2 ч +<br>1300 °С, 2 ч | 98                       | 2,94               | 1,4                                        | 123           |

Следует отметить, что даже спеченная до высоких плотностей керамика SBT обладает низким значением микротвердости ( $H_v \sim 3 \div 3,26$  ГПа) и коэффициента трещиностойкости  $K_{IC}$  (1,4–1,6 МПа\*м<sup>1/2</sup>)

по сравнению с такими тугоплавкими материалами, как  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZrO}_2$ . Это может свидетельствовать о высокой хрупкости мишеней SBT, что необходимо учитывать при отработке режимов вакуумных методов напыления тонких сегнетоэлектрических пленок. С ростом относительной плотности керамики  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  от 69 до 98 % отмечено увеличение ее диэлектрической проницаемости от 90 до 123. Вероятно, это связано с изменением пористости керамики, а также с ростом размера зерна. Полученные данные по диэлектрической проницаемости нашего материала близки к данным других авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                   |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Полешук Л.Л., заместитель директора Департамента<br>по энергоэффективности Госстандарта, Минск, Республика Беларусь<br>ВНЕДРЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ<br>И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ПУТЬ К КЛИМАТИЧЕСКИ<br>НЕЙТРАЛЬНОМУ БУДУЩЕМУ . . . . . | 3 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Прищепов М.С., д.т.н., доцент,<br>Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Веремейчик Л.А., д.с.-х.н., профессор,<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ШКОЛ<br>АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА УНИВЕРСИТЕТА . . . . | 9 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Забелло Е.П., д.т.н., профессор кафедры ЭСХП УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», г. Минск,<br>Республика Беларусь<br>АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ<br>ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. . . . . | 14 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Заяц Е.М., д.т.н., профессор УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЭВОЛЮЦИЯ ФАКТОРОВ ОБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ<br>ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ . . . . . | 18 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Гируцкий И.И., д.т.н., доцент, Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Грищенко А.Б.<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ РОБОТИЗАЦИИ<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО<br>ПРОИЗВОДСТВА . . . . . | 20 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Александров О.И., к.т.н., доцент, Демьянкова В.С., студент<br>УО «Белорусский государственный технологический университет»,<br>аспирант Пекарчик О.А. Белорусский национальный технический<br>университет Минск, Республика Беларусь<br>ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖСИСТЕМНЫХ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ<br>ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯХ . . . . . | 27 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Гецман Е.М, ст. преподаватель, УО «Белорусский национальный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА В УСЛОВИЯХ<br>ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ . . . . | 29 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Равинский Н.А., Петрович В.Л.,<br>Крупеня В.И. УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», Минск, Республика Беларусь<br>СИНТЕЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГИИ И СИСТЕМ<br>ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ<br>ПРЕДПРИЯТИЙ (АСДУЭ) . . . . . | 32 |
| Зеленькевич А.И., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>КРИТЕРИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ<br>КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .                                                                           | 36 |
| Дронченко В.А., к.т.н.; Семенов В.И., к.т.н., Полоцкий государственный<br>университет<br>СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДОВ АЗОТА<br>В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ . . . . .                                                                                                                                                   | 39 |
| Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А., к.т.н., Полоцкий<br>государственный университет<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ В КАЧЕСТВЕ<br>ДОБАВКИ К ОСНОВНОМУ ТОПЛИВУ КОТЕЛЬНЫХ . . . . .                                                                                                                  | 41 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Шихарев А.С., студент<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>POWER LINE COMMUNICATION – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ<br>В ОБНОВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ . . . . .                                           | 43 |
| Коротченко С.Н., Поздняков М.Н., научный руководитель – Попкова Н.А.<br>Белорусский национальный технический университет, г. Минск,<br>Республика Беларусь<br>ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ . . . . .                                                                                                              | 46 |
| Кудряшев Г.С., д.т.н., профессор, Третьяков А.Н., к.т.н., доцент<br>Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,<br>ИННОВАЦИИ ПРИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ<br>АПК . . . . .                                                                                                          | 49 |
| Лешуков А.Г. студент 2 курса магистратуры направление подготовки<br>35.04.06. «Агроинженерия». Рязанский государственный<br>агротехнологический университет имени П.А. Костычева.<br>ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ . .                                                                            | 52 |
| Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,<br>Збродыга В.М., к.т.н., доцент, УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>АЛГОРИТМ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ<br>КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .         | 55 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,<br>Збродыга В.М., к.т.н., доцент, УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ<br>МАГНИТОПРОВОДА ТРАНСФОРМАТОРА . . . . .                                                                | 58 |
| Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,<br>Збродыга В.М., к.т.н., доцент, УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕРЬ В ТРАНСФОРМАТОРЕ ПРИ ТЕХНИКО-<br>ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЕГО ПАРАМЕТРОВ . . . . .                                                   | 61 |
| Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Кулаковский Д.А. УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», г. Минск<br>ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ 0,4 КВ<br>ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ<br>РАСЦЕПИТЕЛЯМИ . . . . .                                                                                                                 | 64 |
| Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Кулаковский Д.А., Епифанов В.И.<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ<br>ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ<br>10/0,4 кВ . . . . .                                                                      | 66 |
| Селицкая О.Ю., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет» г. Минск, Республика Беларусь<br>К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0.4 кВ . . . . .                                                                                                                                     | 69 |
| Силоцкий А.С., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ<br>ПОНИЖАЮЩЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4кВ<br>В САДОВЫХ ТОВАРИЩЕСТВАХ . . . . .                                                                                               | 72 |
| Тюнина Е.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ В<br>РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ . . . . .                                                                                                                                   | 75 |
| Фурсанов М.И, д.т.н., профессор, Макаревич В.В., ст. преподаватель,<br>Гецман Е.М, ст. преподаватель, УО «Белорусский национальный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>МЕТОДИКА РАСЧЁТА И АНАЛИЗА РЕЖИМОВ<br>РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38–10 КВ<br>С АДАПТАЦИЕЙ К СОВРЕМЕННЫМ УСЛОВИЯМ ФОРМИРОВАНИЯ<br>SMART GRID . . . . . | 77 |



## **СЕКЦИЯ 2 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Болтянська Н.І., к.т.н., доцент, Скляр Р.В., к.т.н., доцент Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, Украина<br>ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ВОСТОКЕ УКРАИНЫ .....                                                                                                                              | 80 |
| Болтянська Н.І., к.т.н., доцент, Моторін В.А., магистр Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, Украина<br>ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В АПК .....                                                                                                                              | 83 |
| Быкова С.Л., ст. преподаватель, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕСАТОРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....                                                                                                                                                             | 86 |
| Воробьева Е.А., Волкова А.В., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия<br>ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ .....                                                                                                                                        | 88 |
| Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОМАССЫ .....                                                                                                                                                        | 91 |
| Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент, Гаркуша А.В., ассистент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Войтехович И.В., руководитель проекта Всемирного банка, Минск, Республика Беларусь<br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ .....                                                                                    | 95 |
| Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик НАН Республики Беларусь, Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Клинцова В.Ф., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ..... | 98 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Герасимович Л.С., академик, д.т.н., профессор, Михайлов В.В.,<br>ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ<br>СИСТЕМОЙ ТЕПЛИЧНОГО КОМБИНАТА . . . . .                                                                                                                                                                                            | 102 |
| Дворник Г.М. к.пед.н., доцент, Зайцев Е.В. УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь<br>ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ – ОСНОВА<br>ЭФФЕКТИВНОГО ВНЕДРЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ<br>ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК . . . . .                                                                                                                                                                                           | 105 |
| Заикин А.С. <sup>1</sup> , Абдулхаев Х.Г. <sup>2</sup> , к.т.н., с.н.с. Барайшук С.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н.,<br>доцент <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», Минск, Республика Беларусь<br><sup>2</sup> Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства,<br>Гульбахор, Республика Узбекистан<br>РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДОГРЕВА ПЛОЩАДКИ<br>ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ . . | 108 |
| Карпович А.М., Цубанова И.А. УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ<br>РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ<br>ЭНЕРГИИ . . . . .                                                                                                                                                                                                                         | 111 |
| Komar A., engineer, Boltianska N., Ph.D. Eng. Dmytro Motornyi Tavria<br>state agrotechnological university, Melitopol, Ukraine.<br>BASIC PRINCIPLES OF ENERGY SAVING IN THE AGRICULTURAL<br>COMPLEX . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                           | 113 |
| Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Авдошка И.В., к.ф.-м.н., доцент,<br>Клинцова В.Ф. Белорусский государственный аграрный технический<br>университет, Минск, Республика Беларусь<br>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО<br>ХОЗЯЙСТВА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ . .                                                                                                                                                                                     | 116 |
| Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Гаель И.А., Зыкун А.С., Плискевич Е.В.<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕСТНОГО<br>СЖИГАНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОЛИВА И ТБО . . . . .                                                                                                                                                                                              | 119 |
| Лиханов В.А., д.т.н., профессор, Лопатин О.П., д.т.н., доцент Вятский<br>государственный агротехнологический университет, Киров, Россия<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ<br>НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                           | 122 |

|                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Лопатин О.П., д.т.н., доцент Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В ДИЗЕЛЯХ, РАБОТАЮЩИХ<br>НА БИОТОПЛИВЕ . . . . .                                                              | 125 |
| Нефедов С.С., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск<br>РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИИ<br>СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК С КОНЦЕНТРАТОРНЫМИ<br>СИСТЕМАМИ . . . . .                   | 128 |
| Попкова Н.А. УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ<br>ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ<br>РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ . . . . .                          | 130 |
| Родионов А.В., аспирант, Зайцев А.А., к.ф.-м.н., доцент Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец<br>ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ<br>ТЕРМОЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА . . . . .                                       | 133 |
| Селюк Ю.Н., Бондарчук О.В., Дубкова А.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО<br>ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ (ВИЭ) . . . . . | 136 |
| Синица С.И., ст. преподаватель, Клинцова В.Ф., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЗЕЛЕННЫЕ РАСТЕНИЯ – СЫРЬЕ ДЛЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК . .                         | 139 |
| Стрикунов А.В., к.т.н., доцент. Войку И.П. ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет», Псков, Россия<br>ПЕРСПЕКТИВЫ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В<br>ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА<br>ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ . . . . .                | 142 |
| Цубанов И.А., Цубанова И.А., Карась И.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ<br>НА МОЛОЧНО-ТОВАРНЫХ ФЕРМАХ . . . . .                        | 146 |
| Чёрная Т.С. к.т.н., доцент, Вьюник О.В., инж. Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, Украина<br>РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ<br>АГРЕГАТ . . . . .                            | 149 |

## **СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ВАПК**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Базулина Т.Г., ст. преподаватель БГАТУ, Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь<br>ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ С ПОМОЩЬЮ<br>ВИБРОДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                | 152 |
| Барайшук С.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А. <sup>1</sup> , Скрипко А.Н. <sup>1</sup> ,<br>к.т.н., Х. Абдулхаев <sup>2</sup> , к.т.н., доцент <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br><sup>2</sup> Узбекский научно-исследовательский институт механизации<br>сельского хозяйства, Намаган, Узбекистан<br>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ<br>ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗАПОЛНЕНИЯ . . . . . | 155 |
| Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П., к.т.н., доцент,<br>Коровкина Н.П., к.п.н., доцент, УО «Белорусский государственный<br>технологический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ<br>ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ И ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ<br>ДВИГАТЕЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ АПК . . . . .                                                                                                                                                     | 158 |
| Бондарчук О.В. УО «Белорусский государственный аграрный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИЯ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ<br>В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 161 |
| Вендин С.В., д.т.н., ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Белгород, Россия<br>ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСА НА ЭНЕРГЕТИКУ СВЧ<br>ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ<br>ИМПУЛЬСНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 163 |
| Городецкая Е.А. <sup>1</sup> , к.т.н., доцент, Городецкий Ю.К. <sup>2</sup> , Титова Е.Т. <sup>2</sup> , к.б.н.,<br>доцент, <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», <sup>2</sup> НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь<br>ПРОСЕИВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ<br>ТЕХНОЛОГИЙ . . . . .                                                                                                                                                            | 166 |
| Дайнеко В.А., к.т.н., зав. кафедрой ЭСХП, Базулина Т.Г., ст. преподаватель<br>кафедры ЭСХП, Гольмант Н.С., магистрант УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь<br>ВЫБОР ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО<br>ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ<br>ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ . . .                                                                                                                  | 169 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Дайнеко В.А., к.т.н., зав. кафедрой ЭСХП, Прищепова Е.М., к.т.н.,<br>доцент кафедры ЭСХП, Крупеня В.И., ассистент кафедры ЭСХП<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ЗАГРУЗКИ И<br>УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННЫХ<br>ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ .....                                                                                                                                                                                                                | 173 |
| Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С.,<br>к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССОВ<br>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БЕЛКОВОСОДЕРЖАЩИХ<br>СРЕД .....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 177 |
| Ербаев Е.Т. <sup>1</sup> , доктор PhD, и.о.доцент, Үсен Г.Ә. <sup>2</sup> , магистрант,<br>Ербаева Н.Б. <sup>3</sup> , преподаватель, магистр <sup>1</sup> Западно-Казахстанский<br>аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск,<br>РК <sup>2</sup> Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы, РК<br><sup>3</sup> Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных<br>систем, г. Уральск, РК<br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>КОМБИНИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ<br>ЭНЕРГИИ В КАЗАХСТАНЕ ..... | 178 |
| Журавель Д.П., д.т.н., профессор, Болтянский Б.В., к.т.н., доцент,<br>Болтянская Л.А., к.э.н., доцент Таврический государственный<br>агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь,<br>Украина КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ<br>ОБЪЕКТОВ АПК .....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 184 |
| Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Базулина Т.Г., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ<br>ЭНЕРГИИ В СУТОЧНОМ ЦИКЛЕ РАБОЧЕГО ДНЯ<br>ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА АПК .....                                                                                                                                                                                                                                                           | 187 |
| Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Базулина Т.Г., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СУТОЧНОГО<br>УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 189 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Иванов Д.М., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ<br>ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО<br>ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....                                                                            | 192 |
| Иванов Д.М., ст. преподаватель, Равинский Н.А., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ АСКУЭ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В БЫТУ ...                                                                                               | 195 |
| Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент, Дубодел И.Б.,<br>к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЗЕРНОВОЙ<br>СИСТЕМЫ .....                                                           | 197 |
| Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент, Крылова Н.Г.,<br>к.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», Минск, Республика Беларусь<br>ПРИБОРНЫЕ МЕТОДЫ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ МАСТИТА У<br>КОРОВ .....                                                             | 200 |
| Козловская И.П., д.с.-х.н., Курочкин В.А., инженер УО «Белорусский<br>государственный аграрный технический университет», Минск,<br>Республика Беларусь<br>ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА<br>ФОРМИРОВАНИЕ ЛИСТОВОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ САЛАТА<br>ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ .....                             | 203 |
| Кондратьева Н.П., д.т.н., профессор; Большин Р.Г., к.т.н.; Краснолуцкая М.Г.,<br>к.т.н.; Ваштиев В.К., Ахатов Р.З., Ваштиева А.В., Шишов А.И. Ижевская<br>государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия<br>ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ<br>ТЕХНОЛОГИИ В АПК .....                              | 206 |
| Корко В.С., к.т.н., доцент Кардашов П.В., к.т.н., доцент Дубодел И.Б.,<br>к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ СРЕДЫ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>КАЧЕСТВА КОРМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ<br>ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ..... | 208 |
| Кравцов А.М., к.т.н., доцент, Демидков С.В., к.т.н., доцент, Гаель И.А.<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>СПОСОБ ХОЛОДНОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ<br>ПРОДУКТОВ .....                                                                              | 211 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Кривовязенко Д.И., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА<br>БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ .....                                                                                                                                                                                                                                      | 214 |
| Кригуль Р.Е. к.т.н., доцент, Бабич М.И., к.т.н., доцент, Коробка С.В., к.т.н., доцент, Львовский национальный аграрный университет Дубляны, Украина Шаповал С.П., докт. техн. наук, профессор. Национальный университет «Львовская политехника» Львов, Украина<br>СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ СООРУЖЕНИЯ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА ...                                                                                                                                 | 217 |
| Крутов А.В., к.т.н., доцент, Бойко М.А., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>УДАЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД<br>МАШИННЫХ ДВОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ<br>ПОЛЕЙ .....                                                                                                                                                                           | 220 |
| Крутов А.В., к.т.н., доцент, Шихарев И.А., студент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» Минск, Республика Беларусь<br>ВЕНТИЛЯЦИЯ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ КАМЕР ПРИ<br>ПРОМЫШЛЕННОМ ВЫРАЩИВАНИИ ШАМПИНЬОНОВ .....                                                                                                                                                                                                                | 223 |
| Кустова Р.И., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ<br>СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП .....                                                                                                                                                                                                                                              | 226 |
| Опейко О.Ф., к.т.н., доцент УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ<br>ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ БЕЗ ДАТЧИКА СКОРОСТИ .....                                                                                                                                                                                                                                                    | 228 |
| Павлович И.А. <sup>1</sup> , Барайшук С.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Муродов М.Х. <sup>2</sup> , к.т.н., доцент <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь <sup>2</sup> Наманганский инженерно-строительный институт, Намаган, Узбекистан<br>ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ<br>ГРУНТОЗАМЕЩАЮЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ<br>ОПТИМИЗАЦИИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ..... | 230 |
| Панасенко С.И., преподаватель УО «Слуцкий государственный колледж», Слуцк, Республика Беларусь<br>ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ . .                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 232 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Панасенко С.И., преподаватель, Федорович В.Д. учащийся,<br>УО «Слуцкий государственный колледж», Слуцк, Республика Беларусь<br>ЭЛЕКТРОЛИЗ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА.<br>МОБИЛЬНАЯ МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ПЛАВЛЕНИЯ СНЕГА<br>НА ЭЛЕКТРОЛИЗЁРЕ SMS MM .....                                                                                                             | 235 |
| Прищепов М.А., д.т.н., профессор кафедры ЭСХП, Прищепова Е.М.,<br>к.т.н., доцент кафедры ЭСХП УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА<br>МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕЖДУ АСИНХРОННЫМИ<br>ДВИГАТЕЛЯМИ И ВАЛЬЦАМИ ПЛЮЩИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ<br>ФУРАЖНОГО ЗЕРНА ..... | 238 |
| Селюк Ю.Н. УО «Белорусский государственный аграрный технический<br>университет», Минск, Республика Беларусь<br>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО<br>ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ<br>АПК .....                                                                                                                                              | 243 |
| Силоцкий А.С., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРА<br>ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПИТАЮЩЕГО<br>НАПРЯЖЕНИЯ, ПОДАВАЕМОГО НА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ...                                                                                          | 246 |
| Сиренко Ю.В., д-р философии, ст. преподаватель кафедры энергетики<br>и электротехнических систем, Калнагуз А.Н., ст. преподаватель<br>кафедры тракторов, с.-х. машин и транспортных технологий Сумский<br>национальный аграрный университет, Сумы, Украина<br>ЗНАЧЕНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ...                                                | 249 |
| Сиренко Ю.В., доктор философии, ст. преподаватель кафедры энергетики<br>и электротехнических систем, Калнагуз А. Н., ст. преподаватель<br>кафедры тракторов, с.-х. машин и транспортных технологий Сумский<br>национальный аграрный университет, Сумы, Украина<br>ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ...                                                 | 252 |
| Скочек И.И., ст. преподаватель, Плешенков В.Д., студент<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь<br>ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ГЕНЕРАТОРА<br>ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ<br>ВЛАЖНОСТИ ПОТОЧНОГО ВЛАГОМЕРА .....                                                                    | 255 |



|                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Шубкин С.Ю., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», Елец, Россия<br>ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМОКОПИЛЬНОЙ<br>ОБРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ ПИЩЕВЫХ СРЕД В<br>ПЕРЕСЫПАЮЩЕМСЯ СЛОЕ ..... | 258 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Янко М.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ АКТИВАЦИИ<br>ПРОДУКТИВНОСТИ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ ..... | 261 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

#### **СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК**

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Воронович А.А., Матвеев И.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ УРОВНЯ ... | 264 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Гируцкий И.И., д.т.н., доцент, Немирович С.И., м.т.н., ассистент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ<br>ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОМ МЕТОДЕ<br>ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ..... | 266 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Жур А.А., ст. преподаватель, Гриб А.Ф., к.ф.-м.н., зав. лаб. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ, НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ<br>АВТОМАТИЗАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ..... | 269 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Кондратьева Н.П., д.т.н., профессор, Большин Р.Г., к.т.н., Краснолуцкая М.Г., к.т.н., Ваштиева А.В., Ахатов Р.З., Шишов А.А., Ваштиев В.К. ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия<br>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ, ТЕЛЕМЕХАНИКА,<br>РОБОТОТЕХНИКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК ..... | 272 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Кудинович А.Н., м.т.н., Смольский В.А. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА<br>ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ ..... | 273 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Львова О.М., ст. преподаватель, Дубкова А.В., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ ..... | 277 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Матвейчук Н.М., доцент, Мякинник Е.Е., ст. преподаватель<br>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,<br>Минск, Республика Беларусь                                                                                             |     |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ЗАМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ<br>КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПОЛИВНОГО РАСТВОРА .....                                                                                                                                                                   | 280 |
| Маргун А.А. <sup>1</sup> , Матвейчук Н.М. <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., доцент <sup>1</sup> ИООО «ЭПАМ Системз»,<br>Минск, Республика Беларусь <sup>2</sup> УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь |     |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ<br>ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ<br>СИСТЕМЫ ПРОГНОЗНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ .....                                                                                                                              | 283 |
| Мякинник Е.Е., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                        |     |
| АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО<br>СОСТАВА ЭКСТРУДИРУЕМОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ .....                                                                                                                                                                  | 286 |
| Мякинник Е.Е., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                        |     |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА РАЗОМКНУТОГО УПРАВЛЕНИЯ<br>ДЛЯ ПОЛИВА В ТЕПЛИЦАХ .....                                                                                                                                                                            | 289 |
| Мясоедова М.А., к.т.н., доцент, Руденко В.В., к.т.н., доцент,<br>ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная академия<br>им. И.И. Иванова, Курск, Россия                                                                                       |     |
| ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК<br>ОБЪЕКТОВ АПК НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ГИБРИДНЫХ<br>НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ .....                                                                                                                                        | 291 |
| Павловский В.А. УО «Белорусский государственный аграрный<br>технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                         |     |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ<br>СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ .....                                                                                                                                        | 294 |
| Павловский В.А., Решкевич В.В. УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                          |     |
| АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ В<br>СВИНАРНИКЕ .....                                                                                                                                                                                          | 296 |
| Пансевич Н.А., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный<br>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                          |     |
| ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО<br>УПРАВЛЕНИЯ ПОДГРЕБАТЕЛЕМ КОРМОВ НА ФЕРМЕ КРС ....                                                                                                                                                      | 298 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Попов Д.С., Матвеев И.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ЗАЩИТЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В PROTEUS .....                                                                                              | 301 |
| Пунько А.И., к.т.н., доцент, Ловкис В.Б., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>СОВРЕМЕННЫЙ КОМБИКОРМОВЫЙ ЦЕХ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ .....                                                                 | 304 |
| Пустовит В.С., Жур А.А. ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ .....                                                    | 306 |
| Руденко В.В. к.т.н., доцент, Мясоедова М.А. к.т.н. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», Курск, Россия<br>ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ ...          | 309 |
| Телеховец К.А., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ МОЛОЧНОГО ТАКСИ ДЛЯ ВЫПОЙКИ ТЕЛЯТ .....                                                                                                  | 312 |
| Туров А.В., руководитель учебного центра УП «Атава», Минск, Республика Беларусь<br>ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК ...                                                                                                                                                                 | 314 |
| Ярош В.О., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИНИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОМЕТА КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ .....                                                                                                | 316 |
| <b>СЕКЦИЯ 5 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ</b>                                                                                                                                                                                                                    |     |
| Андрянов В.М., д.ф.-м.н., Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ БОКОВОЙ ЦЕПИ ПРИРОДНЫХ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА ИХ БИОАКТИВНОСТЬ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ..... | 319 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Арабей С.М., д.ф.-м.н., доцент, Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент, Круплевич В.Ч. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
| Чернявский В.А., к.ф.-м.н., доцент Белорусская государственная академия связи, Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
| ФОТОПРЕОБРАЗУЮЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 322 |
| Барайшук С.М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А. <sup>1</sup> , Скрипко А.Н. <sup>1</sup> , к.т.н., Х. Абдулхаев <sup>2</sup> , к.т.н., доцент <sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
| <sup>2</sup> Узбекский Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Намаган, Узбекистан                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗАПОЛНЕНИЯ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 325 |
| Барайшук С.М. <sup>1</sup> к.ф.-м.н., доцент, Х.Л.Хуан <sup>2</sup> магистр физики, директор <sup>1</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск <sup>2</sup> Чжоньданский педагогический университет, Чжоньдан, КНР                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
| МОДИФИКАЦИЯ СМАЧИВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СЕНСОРОВ. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 328 |
| Будзински М. <sup>1</sup> , д.ф.-м.н., В.И. Вальков <sup>2</sup> , д.ф.-м.н., А.В. Головчан <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., доцент, В.И. Митюк <sup>3</sup> , к.ф.-м.н., Г.С. Римский <sup>3</sup> , З. Суровец <sup>1</sup> , д.ф.-м.н., С.М. Барайшук <sup>4</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Т.М. Ткаченко <sup>4</sup> , к.ф.-м.н., доцент. <sup>1</sup> Институт Физики, Университет М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша. <sup>2</sup> Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Донецк. <sup>3</sup> ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск, Беларусь. <sup>4</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь                                                                                             |     |
| МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ СОСТАВА MnNiFeGe . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 330 |
| Будзинский П. <sup>1</sup> , д.т.н., Будзинский М. <sup>2</sup> , д.ф.-м.н., Барайшук С.М. <sup>3</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Виертел М. <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., Митюк В.И. <sup>4</sup> , к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник, Суровец З. <sup>2</sup> , д.ф.-м.н., Ткаченко Т.М. <sup>3</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Головчан А.В. <sup>5</sup> , к.ф.-м.н., доцент. <sup>1</sup> Люблинский Технический университет. 38D Люблин, Польша <sup>2</sup> Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской. 1 пл. М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша <sup>3</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь <sup>4</sup> НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск <sup>5</sup> Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Донецк |     |
| ВОЗДЕЙСТВИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА СВОЙСТВА НЕОДИМОВЫХ МАГНИТОВ . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 333 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Бускис К.П. ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь<br>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ (МОК) В ЭНЕРГЕТИКЕ .....                                                                                                                                                                                                               | 338 |
| Вертель М. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., С.М. Барайшук <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., доцент, <sup>1</sup> Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша<br><sup>2</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск<br>ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ СЕНСОРОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ НАНЕСЕНИЕМ Ti ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СТАЛЬ ..... | 341 |
| Галушко Е.В., к.т.н., доцент, Львова О.М., ст. преподаватель, Дубкова А.В., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» НА ПЛАТФОРМЕ MOODLE .....                                                                                                    | 344 |
| Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент Учреждение образования Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск<br>Почтенный А.Е., к.ф.-м.н., доцент<br>ВЛИЯНИЕ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ .....                                                                                                                          | 346 |
| Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент Учреждение образования Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск<br>Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент Учреждение образования Белорусский государственный технологический университет, г. Минск<br>Почтенный А.Е., к.ф.-м.н., доцент<br>ПРОВОДИМОСТЬ КОМПОЗИТА ФТАЛОЛОЦИАНИН МЕДИ-ПОЛИСТИРОЛ (CUPC-PS) В ПРИСУТСТВИИ АДСОРБИРОВАННОГО КИСЛОРОДА .....   | 350 |
| Кахоцкий М.И., Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ЗАСЫПКИ ПРИ МОНТАЖЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ .....                                                                                                                                                                    | 353 |
| Бобрович О.Г., к.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь<br>Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь<br>СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ФОРМИРУЕМОГО ВАКУУМНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ТИТАНА, КОБАЛЬТА И МОЛИБДЕНА НА СТЕКЛО .....                                      | 356 |

- Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь  
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ  
ПРОИЗВОДНЫХ МОНОСАХАРИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО,  
ТЕХНИЧЕСКОГО И МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ . . . . . 359
- Лубинский Н.Н., к.х.н., Слонская С.В., к.х.н., доцент, УО «Белорусский  
государственный аграрный технический университет», Минск,  
Республика Беларусь  
Глинская А.А., к.х.н., Петров Г.С., к.х.н., доцент, УО «Белорусский  
государственный технологический университет», Минск, Республика  
Беларусь  
ФЕРРИТЫ ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННЫЕ ЛАНТАНОМ, ТИТАНОМ  
И КОБАЛЬТОМ КАК МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ  
ГАЗОВ . . . . . 362
- Маширов А. В.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., Ткаченко Т.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Мусабилов И.И.<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., Головчан А.В.<sup>4</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
Коледов В.В.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., профессор, Шавров В.Г.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., профессор,  
Митюк В.И.<sup>5</sup>, к.ф.-м.н. <sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия, <sup>2</sup>УО «Белорусский  
государственный аграрный технический университет», Минск,  
Республика Беларусь <sup>3</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов  
РАН, Уфа, Россия <sup>4</sup>Донецкий физико-технический институт  
им. А.А. Галкина, Донецк <sup>5</sup>Научно-практический центр НАН  
Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь  
ХЛАДАГЕНТ TbCu<sub>2</sub> ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕФРИЖЕРАТОРОВ . . . 365
- Мисевич А.В., к.ф.-м.н., Лаппо А.Н., ассистент; доцент; Почтенный А.Е.,  
к.ф.-м.н., доцент; УО «Белорусский государственный технологический  
университет», Минск, Республика Беларусь Долгий В.К., к.ф.-м.н.,  
зав. кафедрой, УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь  
ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ  
И ФОТОАССИСТИРОВАННОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ  
МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕХ-PPV . . . 367
- Михалкович О.М.<sup>1</sup>, Барайшук С.М.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент, Куликаускас В.С.<sup>3</sup>,  
к.ф.-м.н., ВНС. <sup>1</sup>УО «Белорусский государственный педагогический  
университет имени Максима Танка», Минск, Республика Беларусь  
<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь <sup>3</sup>УО «Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики  
им. Д.В. Скобельцына», Москва, Россия  
КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ СИСТЕМ МО  
ПЛЕНКА/СТЕКЛО, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ОПАС . . . 370

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Несенчук А.А., к.т.н., доцент Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь<br>КОНФИГУРИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ<br>СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 373 |
| Никитин А.В., Лановский Р.А., Бушинский М.В. Государственное научно-производственное объединение “Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению”, Минск, Беларусь<br>ПОЛУЧЕНИЕ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ ТИТАНАТОВ СТРОНЦИЯ<br>SR1-XLNXTIO3 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 375 |
| Сергиевич О.А. <sup>1</sup> , к.т.н., Дятлова Е.М. <sup>1</sup> , к.т.н., доц. Шевченко А.А. <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., доцент, <sup>1</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, <sup>2</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск<br>КЕРАМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ<br>ДЛЯ УСТАНОВОК АПК .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 378 |
| Слонская С.В., к.х.н., доцент; Лубинский Н.Н., к.х.н. Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь<br>ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО<br>РАСТВОРА ОРТОФЕРРИТА $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 381 |
| Тульев В.В., к.ф.-м.н., доцент Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь<br>ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СТРУКТУР $\text{Me/Al}$ , ПОЛУЧЕННЫХ<br>ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 384 |
| Чобот А.Н. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н., Латушко С.И. <sup>1</sup> , Желудкевич Д.В. <sup>1</sup> , Сиколенко В.В. <sup>2</sup> , к.ф.-м.н., Чобот Г.М. <sup>3</sup> , к.ф.-м.н., доцент, Латушко Т.В. <sup>4</sup> , Карпинский Д.В. <sup>1</sup> , к.ф.-м.н. <sup>1</sup> ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь <sup>2</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия <sup>3</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь <sup>4</sup> УО «Белорусский государственный медицинский университет», Минск, Республика Беларусь<br>КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ<br>ФЕРРИТА ВИСМУТА С ИОНАМИ-ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ ЖЕЛЕЗА ... | 387 |
| Шевченко А.А., к.т.н., доцент Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь<br>СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ<br>$\text{Sr Bi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК В<br>МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 390 |

Научное издание

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АПК

Материалы  
Международной научно-технической конференции

*(Минск, 21–22 декабря 2021 г.)*

Ответственный за выпуск *И. В. Протосовицкий*  
Компьютерная верстка *А. И. Зеленкевича*  
Дизайн обложки *Д. А. Пекарского*

Подписано в печать 27.12.2021. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 23,94. Уч.-изд. л. 18,72. Тираж 35 экз. Заказ 870.

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, 99–1, 220023, Минск.