

май 2021

ЭНЕРГО

Э Ф Ф Е К Т И В Н О С Т Ь

WEGnology

ШЕО

Технологии умной диагностики оборудования с помощью искусственного интеллекта

Стр. 22

IoT

MES

Утилизация тепла
на объектах торговли

Стр. 4

Гибкость энергосистем:
опыт Германии

Стр. 6–9

Водород в качестве топлива
для энергетических установок

Стр. 16

Потенциал
получения биогаза
в животноводстве

Стр. 24

**Продолжается подписка
на журнал «Энергоэффективность»
на 2-е полугодие 2021 года**

Оформить подписку также Вы можете:

- в любом отделении РУП «Белпочта»
или РУП «Белсоюзпечать»
(подписной индекс **750992**)
- в редакции по тел./факсу:
(+375 17) **350 56 91**
или e-mail: **uvic2003@mail.ru**
- на сайте <http://energoeffekt.gov.by>
(раздел «Популярно об энергосбережении»)

**Обратите внимание!
Если Вам понадобится
оригинал с «синей»
печатью, сообщите
нам, и мы вышлем
его по почте.**



**Мы публикуем только достоверные материалы,
имеющие научную и практическую ценность!**



Ежемесячный научно-практический журнал. Издается с ноября 1997 г.

№5 (283) май 2021 г.

Учредители:

Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь
Инвестиционно-консультационное республиканское унитарное предприятие «Белинвестэнергобережение»

Редакция:

Начальник отдела Ю.В. Шилова
Редактор Д.А. Станюта
Дизайн и верстка В.Н. Герасименко
Реклама и подписка А.В. Филипович

Редакционный совет:

Л.В. Шенец, к.т.н., главный редактор, председатель редакционного совета

В.Г. Баштовой, д.ф.-м.н., профессор кафедры ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» БНТУ

А.В. Вавилов, д.т.н., профессор, иностранный член РААСН, зав. кафедрой «Строительные и дорожные машины» БНТУ

И.И. Лиштван, д.т.н., профессор, академик, главный научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси

А.А. Михалевич, д.т.н., академик, зам. Академика-секретаря Отделения физико-технических наук, зав. лабораторией Института энергетики НАН Беларуси

А.Ф. Молочко, зав. отделом общей энергетики РУП «БЕЛТЭИ»

В.М. Овчинников, к.т.н., профессор, руководитель НИЦ «Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте» БелГУТА

В.М. Полухович, к.т.н., директор Департамента по ядерной энергетике Минэнерго

В.А. Седнин, д.т.н., профессор, зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики и теплотехники БНТУ

Издатель:

РУП «Белинвестэнергобережение»

Адрес редакции: 220037, г. Минск, ул. Долгобродская, 12, пом. 2Н.
Тел./факс: (017) 350-56-91
E-mail: uvic2003@mail.ru
Цена свободная.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 84 журнал «Энергоэффективность» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь.

Журнал зарегистрирован Министерством информации Республики Беларусь. Свид. № 515 от 16.06.2009 г. Публикуемые материалы отражают мнение их авторов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Перепечатка информации допускается только по согласованию с редакцией.

© «Энергоэффективность»

Отпечатано в ГОУПП «Гродненская типография»
Адрес: 230025 г. Гродно, ул. Полиграфистов, 4
Лиц. № 02330/39 от 25.02.2009 г.

Формат 62х94 1/8. Печать офсетная. Бумага мелованная. Подписано в печать 21.05.2021. Заказ 1842. Тираж 860 экз.

Журнал в интернет www.bies.by, www.energoeffekt.gov.by

СОДЕРЖАНИЕ

Энергосмесь

1, 14, 21, 32 В 2020 году в мире ввели в строй 238 ГВт солнечных и ветровых электростанций и другие новости

Официально

2 Депутаты приняли во втором чтении законопроект по вопросам техрегулирования и энергосбережения *БЕЛТА*

Вести из регионов

2 ДПУП «Оршасызавод» реализует потенциал модернизации холодоиспользующего оборудования *Е.О. Савик*

3 Реализация крупных инвестиционных проектов приносит экономию ТЭР *Е.В. Садовский*

4 Утилизация тепла на объектах торговли *М. Митюшева*

5 Экономия и безопасность: внедряем и обеспечиваем *А. Гиль*

5 Тепловая модернизация старой застройки: семеро смелых *А.Н. Бобрик*

Выставки. Семинары. Конференции

6 Повышение гибкости и соединение секторов энергетических систем в рамках энергетического перехода Германии на новые энергоносители *Кристина Хаверкам, dena*

8 Гибкость энергосистем: роль в энергетическом переходе *Леа-Валеска Гибель, dena*

Энергомарафон

10 Grafenbat – аккумулятор нового поколения *Павел Драченко, Евгений Тимошенко, ГУО «Грицкевичский учебно-педагогический комплекс детский сад – средняя школа»*

Электротранспорт

14 Уже в 2026 году количество проданных электромобилей вдвое превысит количество продаж авто с ДВС *А.В. Никитенко, ПО «Белоруснефть»*

Научные публикации

16 Место водорода в современных энерготехнологических метасистемах. Часть 3. Водород в качестве топлива для энергетических установок *А.В. Седнин, А.А. Абразовский, К.А. Кузьмич, Е.О. Иванчиков*

24 Исследование потенциала получения биогаза в животноводческих комплексах Республики Беларусь *О.А. Любчик, БНТУ*

28 Влияние дислокаций на спектр поверхностной фото-ЭДС в сильнодислокационных кристаллах кремния *А.В. Новик, БНТУ*

Информационное обеспечение

22 Цифровые технологии и решения WEG в области цифровизации технического обслуживания оборудования

Энергосмесь

В Беларуси планируют развивать использование торфяного топлива

Проекты по использованию торфа в качестве топлива при производстве цемента планируют развивать в Беларуси. Об этом министр энергетики Виктор Каранкевич заявил 3 мая на встрече с коллективом проектного научно-исследовательского РУП «НИИ Белгипропогаз».

Виктор Каранкевич отметил, что в этом году планируется увеличить поставки торфяной продукции на цементные заводы,

в частности торфокрошки в ОАО «Красносельскстройматериалы». Среди приоритетных направлений министр энергетики назвал и перевод котельных ЖКХ с природного газа на фрезерный торф. «Хорошие примеры таких проектов у нас есть: часть из них уже находится на завершающей стадии реализации, часть отработается как перспективные», – сказал он.

БЕЛТА

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Журнал «Энергоэффективность» входит в утверждённый ВАК Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования диссертационных исследований. Приглашаем к сотрудничеству!

T./ф.: (017) 350-56-91. E-mail: uvic2003@mail.ru

УВАЖАЕМЫЕ РЕКЛАМОДАТЕЛИ!

По всем вопросам размещения рекламы, подписки и распространения журнала обращайтесь в редакцию.

ДЕПУТАТЫ ПРИНЯЛИ ВО ВТОРОМ ЧТЕНИИ ЗАКОНОПРОЕКТ ПО ВОПРОСАМ ТЕХРЕГУЛИРОВАНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

30 апреля 2021 года депутаты на заседании пятой сессии Палаты представителей Национального собрания Беларуси седьмого созыва приняли во втором чтении законопроект «Об изменении законов по вопросам технического регулирования и энергосбережения».

Законопроект был принят в первом чтении 19 ноября 2020 года. При его доработке к рассмотрению во втором чтении его название было изменено.

Документом вносятся изменения и дополнения в один из кодексов, а также в ряд законов, в том числе в закон «Об энергосбережении».

Положения этих законодательных актов корректируются с учетом изменившихся подходов в области технического нормирования и стандартизации, оценки соответствия техническим требованиям и аккредитации органов по оценке соответствия, а также приводятся в соответствие с законом «О нормативных правовых актах», указами Президента от 23 марта 2016 года №106 «О государственных программах и оказании государственной финансовой поддержки», от 25 июля 2016 года №289 «О порядке формирования, финансирования, выполнения и оценки эффективности реализации государственных программ», от 16 октября 2009 года №510 «О совершен-

ствовании контрольной (надзорной) деятельности в Республике Беларусь» и от 16 октября 2017 года №376 «О мерах по совершенствованию контрольной (надзорной) деятельности».

Еще одна цель законопроекта – совершенствование этих законов с учетом практики их применения.

Немало внимания уделено в законопроекте повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. В этих целях конкретизируется определение термина «норма расхода топливно-энергетических ресурсов» с учетом наработанной практики по установлению норм расхода топливно-энергетических ресурсов, свидетельствующей об отсутствии возможностей нормирования работ и услуг, не относящихся к производству продукции. Вводится определение понятия «предельный уровень потребления топливно-энергетических ресурсов». Уточняются полномочия Совета Министров в сфере энергосбережения в части установления целевых показателей энергосбережения, определения порядка их доведения, утверждения государственных программ в сфере энергосбережения и принятия мер по их реализации. Урегулированы особенности реализации госпрограммы в сфере энергосбережения, определены источники финансирования.

Проект закона содержит и нововведения, весьма ожидаемые хозяйствующими субъектами. Так, изменяется нижняя граница суммарного потребления топливно-энергетических ресурсов, при котором для юридических лиц устанавливаются нормы расхода этих ресурсов. Вместо 100 т условного топлива этот порог будет составлять 300 т.

Еще одна инновация – это установление срока действия норм расходов топливно-энергетических ресурсов на текущий год вместо календарного года. Это позволит распределить равномерно в течение года обращения юридических лиц в Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации и его региональные управления для согласования норм расхода топлива.

«Принятие проекта закона обеспечит системность правового регулирования общественных отношений в области технического регулирования, а также будет способствовать повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов», – отметил член Постоянной комиссии по промышленности, топливно-энергетическому комплексу, транспорту и связи Палаты представителей Владимир Сияк. ■

БЕЛТА

Вести из регионов. Витебская область

ДПУП «Оршасырзавод» реализует потенциал модернизации холодоиспользующего оборудования

Дочернее производственное унитарное предприятие «ОршаСырЗавод» входит в состав государственное объединение «Витебский концерн «Мясомолочные продукты» Витебской области. Основные виды его деятельности – производство и реализация плавящихся сыров и мороженого.

В 2019 году специалистами инспекционно-энергетического отдела Витебского областного управления по надзору за рациональным использованием ТЭР был проведен экспресс-энергоаудит предприятия. В ходе обследования были выявлены резервы экономии энергоресурсов в объеме 143,7 т у.т., что составило 30% годового потребле-

ния топливно-энергетических ресурсов предприятия. Был выявлен значительный потенциал модернизации холодоиспользующего оборудования, необходимого для обеспечения производства сыров, мороженого и для поддержания требуемой температуры в холодильных камерах склада готовой продукции.

Уже реализован ряд энергоэффективных мероприятий, рекомендованных энергоаудитом.

Так, в 2020 году была проведена децентрализация холодообеспечения с установкой локальных холодильных установок и перевод линии по производству мороженого в стаканчиках с аммиака на фреон. Это принес-

ло фактический экономический эффект в размере 47,9 т у.т.

До замены обеспечение холодом производилось за счет центральной аммиачной компрессорной установки с двухступенчатым сжатием. Замена двух старых компрессоров линии по производству мороженого в стаканчиках на два фреоновых компрессора иностранного производства позволила снизить энергопотребление со 150 до 44 кВт·ч. При этом данная установка работает в полностью автоматическом режиме, что позволяет при наборе заданной температуры выключать один или оба компрессора на некоторый промежуток времени. Если старая линия за



девятичасовую смену потребляет 1350 кВт·ч, то новая линия расходует лишь 396 кВт·ч.

В конце 2020 года были завершены работы по переводу на фреон производства лед-воды для технологических нужд, фактический экономический эффект от которого за январь-март 2021 года составил 3,9 т у.т.

До замены подготовка лед-воды с температурой 0...+4°C производилась за счет центральной аммиачной компрессорной установки, которую обеспечивали холодом два компрессора мощностью по 75 кВт каждый. Старые компрессоры заменили на три фреоновых



компрессора иностранного производства с мощностью двигателя по 30 кВт каждый. При этом данная установка также переведена в полностью автоматический режим.

Реализация указанных мероприятий позволила достичь высокого значения фактического целевого показателя энергосбережения в 2020 году (минус 9,3%). Потребление электроэнергии с момента реализации мероприятий по децентрализации холодоснабжения за минувший год снижено более чем на 155 тыс. кВт·ч (часть экономии получена в 2020 году, часть будет получена в текущем).

В 2021 году предприятие не останавливается на достигнутом. В настоящее время реализуется мероприятие «Децентрализация холодоснабжения с установкой локальных холодильных установок. Перевод 5 камер хранения с аммиака на фреон», условно-годовой экономический эффект от которого составит 36 т у.т. ■

Е.О. Савик,
старший инспектор
производственно-
технического отдела
Витебского областного
управления по надзору
за рациональным
использованием ТЭР

Реализация крупных инвестиционных проектов приносит экономию ТЭР

24,8% суммарного потребления топливно-энергетических ресурсов предприятиями Гродненской области приходится на долю одного из промышленных гигантов страны – ОАО «Гродно Азот». На предприятии ежегодно формируется план мероприятий по энергосбережению с учетом приоритетных направлений в сфере энергосбережения, идет совершенствование технологий с целью улучшения качества продукции и снижения ее себестоимости.

30 апреля 2021 года завершен один из крупнейших инвестиционных проектов предшествующих лет «Реконструкция воздуходелительных установок цеха метанола ОАО «Гродно Азот».

Цех метанола является самым энергоемким производством предприятия. Блоки разделения воздуха в цеху метанола обеспечивают производственный цикл газовым сырьем (кислородом, азотом) как при нормальном режиме работы цехов, так и в случае их плановых и аварийных остановок. Продукция, вырабатываемая блоками разделения воздуха, идет на внутривзаводское потребление и в небольшом количестве является товарной продукцией для предприятия. Ранее действующая схема обеспечения газовым сырьем цехов-потребителей являлась нерациональной, так как не позволяла изменять в необходимых пределах производительность по продуктам разделения воздуха в зависимости от нагрузок цехов-потребителей.

В рамках проекта по реконструкции воздуходелительных установок цеха метанола произведена замена трех существующих блоков БР-6М и двух КА-5 на два блока

германского производства. Технологическая схема основывается на современных методах низкотемпературной ректификации, комплексном извлечении и внутреннем сжатии продуктов разделения воздуха с использованием энергосберегающих технологий. В результате реализации проекта полностью обновлены основные производственные фонды отделения газоразделения цеха метанола, что повысило надежность обеспечения основных технологических цехов продуктами разделения воздуха, взрыво- и пожаробезопасность химического производства. Удельное энергопотребление цеха метанола снизилось более чем на 40%, что привело к снижению себестоимости как продуктов разделения воздуха, так и другой продукции предприятия, для производства которой необходимы азот и технический кислород (капролактамы, метанол и др.). Сократилась и численность персонала, обслуживающего воздуходелительные установки.

Условно-годовой экономический эффект от реализации данного мероприятия, согласно технико-экономическому обоснованию, составляет 25096 т у.т.

Первоочередной задачей ОАО «Гродно Азот» является дальнейшее обновление производственных мощностей и внедрение современных перспективных технологий, сохранение и расширение рынков сбыта. Для решения поставленных задач в настоящее время реализуется инвестиционный проект «Реконструкция технологической схемы №1 цеха олеум с переводом на короткую схему», который принесет условно-годовой экономический эффект в размере 15458 т у.т. Находятся на стадии проработки меро-



приятия «Внедрение паровой противоаварийной турбины в котельном цехе вместо РОУ-39-27» (условно-годовой экономический эффект 1003 т у.т.), «Реконструкция ГТЭС котельного цеха» (7103 т у.т.), а также «Внедрение энерготехнологического котлоагрегата для утилизации горючих отходов в котельном цехе ОАО «Гродно Азот» (13588 т у.т.). ■

Е.В. Садовский, заместитель
начальника Гродненского областного
управления по надзору за рациональным
использованием ТЭР – начальник
производственно-технического отдела

Утилизация тепла на объектах торговли

Никто не умеет считать деньги лучше, чем предприятия торговли. У всех на слуху, что экономить энергоресурсы можно давно известными способами: замена существующего освещения на энергосберегающее, выполнение на объектах термо-реновации путем замены оконных блоков, утепления стен и крыш зданий, а также замена используемого энергозатратного оборудования на более энергоэффективное. Но малоизвестно, что на объектах торговли используется такое направление энергосбережения, как утилизация тепла.

Какое самое энергоемкое оборудование в магазине? Правильно: холодильники, лари, бонеты, морозильники. В борьбе за покупателя магазины расширяют ассортимент реализуемой продукции, соответственно идет наращивание числа единиц холодильного оборудования, что в свою очередь требует соблюдения технологических регламентов по хранению продукции. И в дальнейшем это приводит к увеличению потребления электроэнергии в сфере торговли.

Несомненно, холодильное оборудование совершенствуется. Промышленность выпускает энергоэффективные модели, но замена существующего холодильного оборудования на новое требует дополнительных материальных затрат. А как сделать эффективно, но минимизировать затраты?

В настоящее время существуют технические решения, позволяющие экономить энергию и снижать стоимость жизненного цикла холодильной установки – это система рекуперации тепла, в которой за счет охлаждения перегретого пара хладагента и конденсации его в жидкость происходит

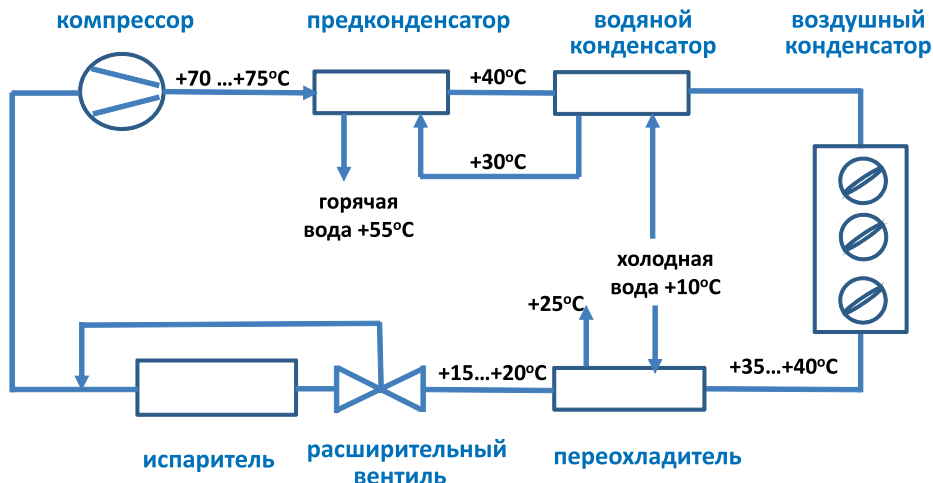


Рис. 1. Схема утилизации тепла конденсации фреона холодильной установки

нагрев воды. При помощи различных схем горячая вода может использоваться для горячего водоснабжения и для отопительных систем.

Стоимость систем рекуперации в настоящее время достаточно высока. Если сравнить затраты на использование электрической и тепловой энергии для горячего водоснабжения с затратами на оборудование, нагревающее воду горячими парами хладагента, то обычный вариант окажется дешевле в 2–3 раза. Но у систем рекуперации тепла есть весомое преимущество: получение горячей воды без затрат на обогрев приведет к снижению электрической или тепловой нагрузки. Согласно статистике, рекуперация окупается в срок от одного года до трех лет, в зависимости от используемой на нагрев тепловой или электрической энергии. И это только за счет стоимости энергоресурсов.

Одним из примеров внедрения рекуперации тепла от холодильных установок в Могилевской области являются объекты филиала ООО «Евроторг» в городе Могилеве.

В 2020 году на двух торговых объектах, расположенных в городах Могилев (улица Лазаренко, 73Б) и Круглое (улица Мопровская, 6), установлено оборудование для использования тепловых вторичных энер-

гетических ресурсов (ВЭР) конденсации фреона холодильных центральных, которое позволит снизить затраты тепловой энергии на 90,4 тонны условного топлива в год.

На рисунке 1 приведена возможная схема утилизации тепла холодильной системы с воздушным конденсатором для нагрева воды до 50–55°C.

Помимо стандартных элементов (компрессор, конденсатор, испаритель и др.) в нее добавляются предконденсатор и водяной конденсатор. Вода поступает в конденсатор, где нагревается до 30°C, затем поступает в предконденсатор, где за счет снятия перегрева горячих паров фреона догревается до 50–55°C. Переохлаждение фреона после конденсатора позволяет также дополнительно получить тепловую энергию конденсации. Помимо утилизации тепла переохладитель также дает возможность поднимать холодопроизводительность системы. Опыт реализации в Республике Беларусь аналогичных проектов показывает, что на 1 кВт холодопроизводительности приходится порядка 0,3 кВт утилизируемой тепловой энергии.

Торговые объекты в Могилеве и Круглом – это не единственный опыт филиала «Евроторг» в Могилевской области. В 2018 году аналогичные системы были установлены на двух объектах в городах Могилев и Бобруйск, в результате чего была достигнута годовая экономия тепловой энергии в количестве 125,9 тонны условного топлива.

Как показывает полученный опыт, использование данных систем утилизации ВЭР на объектах торговли действительно и окупается в реальные сроки. ■

Мargarита Митюшева, заведующий сектором производственно-технического отдела Могилевского областного управления по надзору за рациональным использованием ТЭР



Экономия и безопасность: внедряем и обеспечиваем

Внедрение железнодорожного подвижного состава нового поколения, характеризующегося повышенными потребительско-эксплуатационными и экологическими качествами, невозможно без решения задач по совершенствованию содержания пути, включающего рельсы, скрепления, подрельсовое основание, стрелочные переводы.

Особое место в путевом хозяйстве занимают пересечения рельсовых путей – стрелочные переводы, представляющие собой ответственные и дорогостоящие элементы верхнего строения пути. В связи с возрастанием нагрузок вследствие повышения скорости и массы поездов, стрелочные переводы становятся уязвимым местом в эксплуатационной деятельности железнодорожных путей.

Одним из главных требований содержания стрелочных переводов является легкость перевода стрелки, что обеспечивается их чистотой и смазкой.

Обледенение и снежные заносы элементов верхнего строения пути и, прежде всего, стрелочных переводов представляют собой проблему, сдерживающую бесперебойный и безопасный пропуск поездов. Для очистки стрелочных переводов от снега и наледи используются различные методы в зависимости от конкретных природных условий: ручная очистка стрелок (круглосуточная работа и дежурство монтеров, высокие трудозатра-



Тепловизионка



Стрелка в снегу

ты); оборудование стрелочных переводов технологическим подогревом (не автоматизировано).

В Могилевском отделении Белорусской железной дороги (НОД-5) внедрены и находятся в эксплуатации автоматизированные системы технологического подогрева стрелочных переводов АСУЭО-СП, охватывающие 141 стрелочный перевод.

В планах на 2022–2026 годы – внедрение по Могилевскому отделению систем АСУЭО-СП на 210 стрелочных переводах.

Экономия энергоресурсов от уже внедренных систем составила 53,6 т.т. ■

Андрей Гиль, заместитель начальника производственно-технического отдела Могилевского областного управления по надзору за рациональным использованием ТЭР



Автоматика

Тепловая модернизация старой застройки: семеро смелых

В прошлом году в Брестской области, можно сказать, еще присматривались к возможности тепловой модернизации жилфонда с финансовым участием собственников. Не все собственники жилья были согласны на проведение такой модернизации по разным причинам. Однако в текущем году ситуация начала меняться. Жильцы первых семи домов жилфонда старой постройки провели необходимые подготовительные мероприятия и выразили готовность воспользоваться возможностью тепловой модернизации своего жилья и льготами по ее финансированию.

В целях снижения теплопотребления в многоэтажном жилом фонде старой застройки с декабря 2019 г. начали действовать Указ Президента №327 «О повышении энергоэффективности многоквартирных жилых домов»

и соответствующее постановление правительства от 05.12.2019 №839. Данными документами предоставляется государственная поддержка собственникам квартир, принявшим решение провести в своем доме тепловую модернизацию, определен порядок организации и финансирования мероприятий, а также способ возмещения собственниками квартир затрат на их реализацию.

В первую очередь тепловой модернизации с финансовым участием собственников попали оставшиеся дома, которые находятся на первых местах в графиках для проведения капремонта. Частью Проекта по расширению устойчивого энергопользования является пилотная программа тепловой модернизации многоквартирных жилых зданий, способная охватить 248 жилых домов Гродненской и Могилевской областей. Для проведения в 2020–2025 годах тепловой мо-

дернизации жилых домов в этих областях привлекаются международные займы.

Среди финансовых структур, участвующих в проекте, – Международный банк реконструкции и развития, Европейский инвестиционный банк и Глобальный экологический фонд. Компенсации подлежат только часть работ. Первоначально Всемирный банк оплачивает эту часть работ, а после их завершения собственники жилья должны возместить 50% затрат в течение 10–15 лет.

По предварительным расчетам при значительном снижении потребления теплоэнергии после комплексной тепловой модернизации жилого здания ожидаемая экономия денежных средств может составить порядка 40%. ■

А.Н. Бобрин, заместитель начальника – начальник инспекционно-энергетического отдела Брестского областного управления по надзору за рациональным использованием ТЭР

Мы писали:

Винчевская М. Обзор Пилотной программы тепловой модернизации в Гродненской и Могилевской областях // Энергоэффективность. – 2021. – №3. – С. 12–15.

Решения о финансовом участии жильцов в тепломодернизации домов приняты в Минске, Сморгони и Дрибине // Энергоэффективность. – 2020. – №10. – С. 12–13.

Винчевская М. «Эффект хозяина» для тепловой модернизации // Энергоэффективность. – 2020. – №9. – С. 16–19.

Указом Президента Республики Беларусь «Об утверждении международных договоров и их реализации» от 3 августа 2020 г. № 296 утверждены международные договоры о реализации инвестиционного проекта «Расширение устойчивого энергопользования» // Энергоэффективность. – 2020. – №8. – С. 7–9.



Кристина Хаверкамп,
управляющий директор,
Немецкое энергетическое агентство (dena)

ПОВЫШЕНИЕ ГИБКОСТИ И СОЕДИНЕНИЕ СЕКТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАМКАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА ГЕРМАНИИ НА НОВЫЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Онлайн-семинар «Возобновляемые источники энергии: гибкость энергетических систем и соединение секторов» Немецкого энергетического агентства (dena), 15 апреля 2021 года

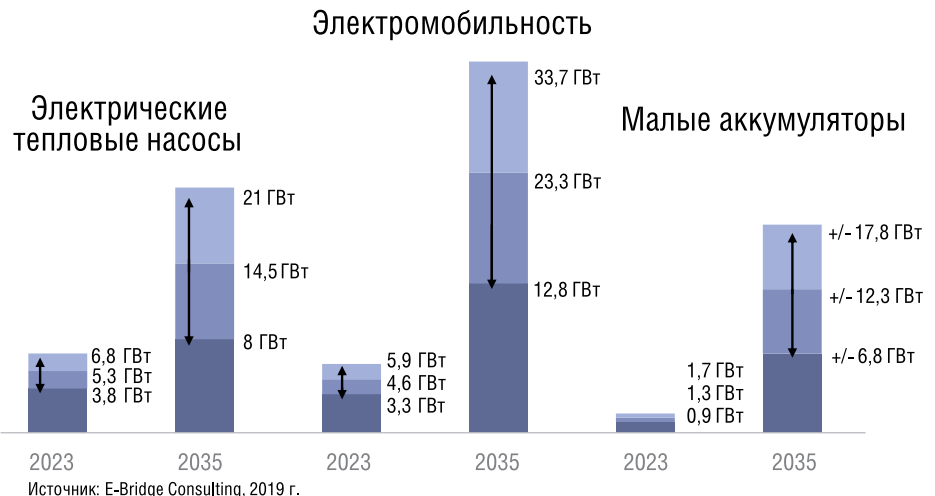
Производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии в Германии развивается быстрыми темпами. В 2020 году его прирост составил около 5%. Таким образом, оно превысило производство электроэнергии из ископаемых источников энергии и составило более 250 млрд кВт·ч. На возобновляемые источники энергии приходится 44% валовой выработки и 46% валового внутреннего потребления электроэнергии страны.

К 2022 году мы планируем закрыть все АЭС на территории Германии. Значительно раньше этого момента я прогнозирую завершение использования угля для производства электроэнергии. В среднесрочной перспективе мы продолжим эксплуатацию современных газовых электростанций. Расширение использования ВИЭ связано и с тем, что Германия поставила своей целью к середине столетия стать климатически нейтральной страной. То есть мы планируем полностью исключить выбросы CO₂.

Высокая инсоляция и благоприятные ветровые условия обеспечили рост, в особенности, солнечной и ветровой энергетики в 2020 году. На юге Германии электрогенерация идет преимущественно за счет энергии солнца, на севере – за счет энергии ветра. Производство электроэнергии из ВИЭ является переменным и может быть спрогнозировано только до определенной степени. Это осложняет прогнозирование объемов не только производства, но и потребления. Иногда на электроэнергию из ВИЭ склады-

Потребность в повышении гибкости

- Это означает организацию и управление новыми производителями и новым потребительским поведением.
- Операторы как передающих и системообразующих, так и распределительных сетей стоят перед вызовами.



ваются отрицательные цены, а с другой стороны, в зимние дни ощутимо большие потребности в отоплении вызывают дефицит электроэнергии из ВИЭ. Поэтому очень важно частотное регулирование в сети.

Всегда высказывались опасения, что переход на энергию ВИЭ в электроэнергетической сфере влечет снижение надежности энергосистем. Но пока эти опасения нарушения энергобезопасности не оправдались. Скорее наоборот. В Германии суммарный индекс средней продолжительности перебоев в подаче электроэнергии (SAIDI) на одного потребителя в 2006 году, когда использование ВИЭ только начиналось, составлял в среднем 22 минуты в год. Сегодня

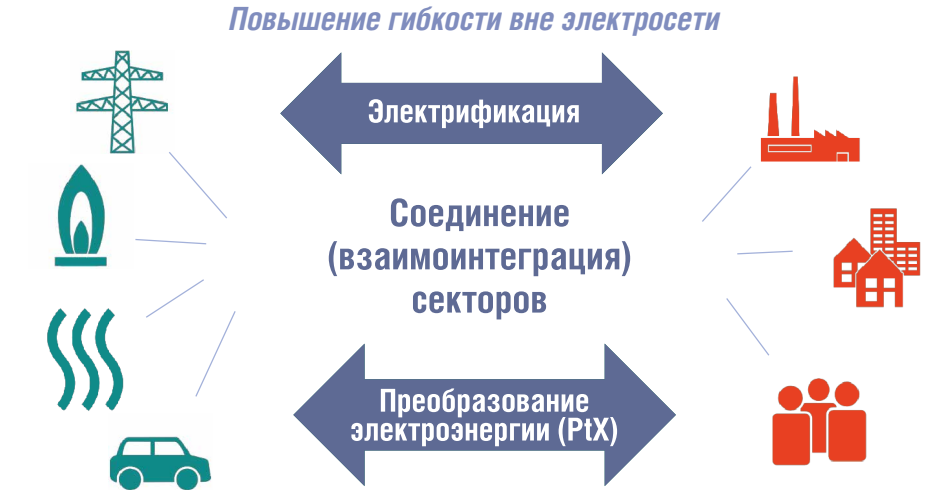
этот показатель снизился наполовину, примерно до 12 минут в год. Эти колебания незначительно сказываются на стабильности энергосистемы и практически равны нулю. Если посмотреть на США, то там потребитель остается без электроэнергии в среднем на 2 часа в год. Это гораздо выше, чем в Германии. И это имеет свою цену. Например, стоимость системных и сетевых услуг с целью обеспечения надежности энергообеспечения в Германии в 2015 году превысила 1 миллиард евро.

Вызовы, стоящие перед операторами энергосетей, растут. Вместе с увеличивающейся долей переменных ВИЭ растет и число энергопотребителей. Поскольку будущее

предполагает полное вытеснение ископаемых энергоносителей, осуществляется переход на электротранспорт. В Германии этот процесс приобретает впечатляющую динамику. Для операторов распределительных сетей, которые должны будут обеспечивать потребителей и использовать подачу электроэнергии от фотовольтаических и ветроустановок, это представляет собой большой вызов. Один из путей решения проблемы – расширение самих сетей: как магистральных, так и распределительных. Это могут также быть и долгосрочные мероприятия. Поэтому нужно анализировать возможные альтернативы, несущие в себе потенциал повышения гибкости как на стороне генерации электроэнергии – из энергии солнца, ветра – так и на стороне потребителя. Поиск и реализация соответствующих мероприятий могут на 50% снизить как капитальные расходы, так и эксплуатационные затраты. Этот потенциал необходимо использовать в Германии. Он включает в себя и так называемых малых потребителей. Огромный потенциал в плане гибкости может быть реализован путем использования тепловых насосов, электромобилей и малых накопителей.

Растущая доля переменных возобновляемых источников энергии предъявляет новые требования к системе энергоснабжения. Она должна стать более гибкой. Только таким образом может быть обеспечена ее надежность.

В прошлом в Германии больше ориентировались на рынок. Речь шла о выравнивании нагрузок в соответствии с требованиями рынка. Но сейчас важна также гибкость, ориентированная на сами сети. При этом расширяется использование накопителей энергии, но эти технологии пока довольно дорогие. Рыночно ориентированной гибкости уже недостаточно для регулирования нагрузок. Нам в Германии все еще не хвата-



ет регуляторных рамок. Это касается и технического оснащения, интеллектуальных счетчиков. В этих областях нужно предложить потребителям энергии некие стимулы, должны появиться какие-то ценовые сигналы. Следует также реализовывать определенные запретительные меры, штрафные санкции, чтобы найти нужный баланс.

В прошлом мы слишком последовательно, шаг за шагом развивали возобновляемую энергетику. Это был довольно успешный путь. Мы старались расширять магистральные сети, доставлять энергию, выработанную на ветроустановках, на юг. Возможно, это делалось не с той пропускной способностью, как нам хотелось бы, но сейчас мы видим значительный вызов в интеграции новых потребителей в сеть для операторов распределительных сетей, которых больше, чем магистральных сетей.

Если бы энергетический поворот пришлось осуществлять заново, он в большей степени коснулся бы зданий и транспортно-

го сектора. Наряду с повышением гибкости при переходе с ископаемых энергоносителей на ВИЭ сейчас все больше и больше обсуждается гибкость в сети.

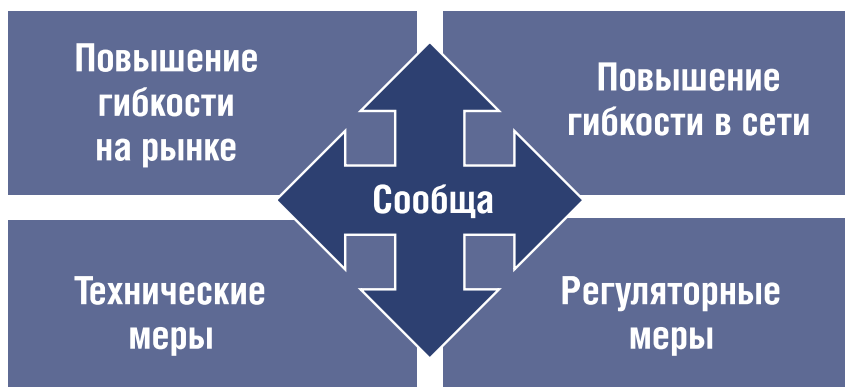
В частности, поднимается тема водорода, получаемого из воды в процессе электролиза. Водород можно без проблем аккумулировать, транспортировать и подавать в сеть. Я имею в виду «зеленый» водород, получаемый без выбросов CO₂. Речь идет не только о классических секторах, т.е. химическом производстве и нефтепереработке. Водород находит новое применение в экономике для декарбонизации. Например, в сталелитейной промышленности, чтобы ее декарбонизировать, на транспорте, в авиации. Все это хорошо послужило бы на благо энергетического поворота. Вместе с тем, водород помогает использовать избыток электроэнергии, причем рационально и разумно. Перспективы производства, аккумулирования и использования водорода сейчас активно обсуждаются применительно к Северу Германии, где проектируются экспериментальные установки.

Для того чтобы найти новые правильные решения, важен комплексный взгляд на систему. Необходимо учесть всех задействованных в системе субъектов, посадить за один стол производителей и потребителей. Это должны также быть и операторы сетей, мелкие потребители, интересы которых важны. Общественные дебаты о различных вариантах и потенциале повышения гибкости энергосистем, а также дальнейшие исследования являются центральными элементами перехода Германии на новые энергоносители.

Немецкое энергетическое агентство (dena) интенсивно работает в этом направлении, рассматривая особенности оказания системных услуг и предоставляя результаты исследований общественности. Возможно, что-то из нашего опыта можно использовать и в Беларуси. ■

Повышение гибкости электросети

- Германия смогла интегрировать в сеть более 40% электроэнергии из ВИЭ практически без применения технологии хранения энергии.
- Этот потенциал был практически полностью освоен рынком (управление сбалансированным циклом).



Леа-Валеска Гибель,
ведущий эксперт департамента энергетических систем
и энергетических услуг, Немецкое энергетическое агентство (dena)



ГИБКОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ: РОЛЬ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПЕРЕХОДЕ

Онлайн-семинар «Возобновляемые источники энергии: гибкость энергетических систем и соединение секторов» Немецкого энергетического агентства (dena), 15 апреля 2021 года

Энергетический переход охватывает всю энергосистему. Центральным компонентом энергосистемы являются сети. Операторам сетей уже пришлось выполнить комплекс важных задач, но перед ними стоит еще ряд вызовов. Этот процесс никогда не выглядит завершенным, постоянно идет определенная регулировка и доработка. Существует целый комплекс вариантов повышения гибкости, реализуя которые, мы должны помнить обо всех трех аспектах: инфраструктура, регулирование и техническое совершенствование.

Итак, где же мы видим потребности в повышении гибкости?

Во-первых, значительно расширилось количество производителей. Вырос объем распределенной генерации энергии, прежде всего из возобновляемых источников. За счет их объединения в виртуальные электростанции нам удастся создавать более крупные объекты генерации. Изменяется и модель энергопотребления: у нас все больше оборудования, бытовых приборов, которые требуют электричества. Одним из постоянно расту-

щих сегментов энергопотребления становится сектор электротранспорта. Многие из новых электротехнических объектов сами генерируют электрическую энергию, и этот потенциал нужно использовать. Мы должны задуматься над тем, как на всех уровнях сети управлять поведением производителей и потребителей. Необходимо на всех уровнях сети организовывать работу с новыми производителями электроэнергии и формировать у потребителей/пользователей новое поведение.

Потенциал повышения гибкости есть как в производстве электроэнергии, так и в распределительной сети. Мы не слишком продвинулись в установке интеллектуальных счетчиков, а ведь это ключевой вопрос модели «умный дом». Кроме того происходит разделение компетенций между операторами магистральных и распределительных сетей. В будущем картина изменится. Проводя параллель с газовым рынком, можно сказать, что газопроводы работают в обоих направлениях, а также допускается резервное использование части из них. Подобно дорожным сетям: магистральные сети – это скоростные трассы, распределительные – обычные дороги. И движение по всем по ним осуществляется в обоих направлениях.

Нам нужны как надежность энергосети, так и стабильность энергоснабжения. К выполнению этих задач ведут решения в области накопления и хранения энергии. Мы используем хранилища энергии разной емкости, однако в их отношении не до кон-

Варианты повышения гибкости



ца разработана нормативно-правовая база. Так, например, согласно законодательству на данный момент четко не определено, насколько операторы магистральных и распределительных сетей имеют право самостоятельно эксплуатировать подобные накопители и хранилища. В рамках исследования повышения гибкости сетей NETSFLEX мы в Немецком энергетическом агентстве уже рассмотрели эту проблему и указали на нормативные препятствия, которые мешают реализации имеющихся технических возможностей.

Другой плоскостью обеспечения надежности и стабильности электроснабжения является управление спросом и предложением. И здесь одним из ключевых понятий следует считать управление спросом на стороне потребителя (demand side management). Этот подход касается как крупной промышленности, так и домохозяйств, для отслеживания потребительского поведения которых нужны интеллектуальные счетчики. Здесь основная задача ложится на плечи операторов распределительных сетей. В нормативном плане тут необходимо создать стимулы для более широкого использования управления энергопотреблением на стороне потребителя. Например, с точки зрения повышения гибкости тарифной сетки сетевых тарифов.

В качестве примера еще недавно можно было привести правило 7000 киловатт-часов в год. На практике порог в 7000 киловатт-часов в год полной нагрузки – это то количество электроэнергии, начиная с которого предприятие энергоснабжения считает потребителя электроэнергией приоритетным, то есть настолько полезным для сети, что для него в данном расчетном году отпадает необходимость равномерной оплаты опубликованных сетевых сборов за кВт и кВт·ч, включенных в цену на электроэнергию. Потребитель может сэкономить, как правило, от 80 до 90% подлежащих оплате общих сетевых сборов или индивидуально согласовать их величину со своим оператором сети. Это правило особенно интересно при использовании системы накопления энергии. В отдельных случаях система накопления окупается менее чем за год, если она позволяет потребителю энергии подать заявку на такой индивидуальный расчет сетевых сборов. Однако это правило более не актуально, поскольку оно было разработано в целях интеграции крупных электростанций базовой нагрузки. Сегодня это правило является скорее препятствием для краткосрочной активации гибкости, поскольку оно не создает никаких стимулов для ограничения подачи энергии в сеть.

Стратегическим для Германии была объявлена задача соединения секторов. Подробнее этот способ достижения гибкости сетей будет разобран в других докладах данного семинара.

Водородная стратегия

Стратегическая платформа Немецкого энергетического агентства (dena) «Power-to-Gas»

Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMWi) запустило в 2020 г. исследовательскую инициативу.

1. Электролизёры для разложения воды в промышленном масштабе, повышенный срок службы, а также производственные и эксплуатационные расходы.
2. Надрегиональные транспортные решения для «зелёного» водорода.
3. Инфраструктура производства и транспортировки водорода носит общеевропейский характер, благоприятна для климата и находит одобрение в обществе.

Важно!

«Зелёный» водород и тема «свидетельства о его происхождении»

Хочу остановиться на водородной стратегии. Федеральное правительство Германии объявило использование водорода своей стратегической задачей, позволяющей достичь климатических целей. Немецкое энергетическое агентство несколько лет назад запустило платформу «Power-to-Gas». Тем самым мы создали рамочные условия для взаимодействия и разработки решений по этой теме. В июне прошлого года Федеральное правительство опубликовало собственную водородную стратегию, и этому примеру последовали также власти многих федеральных земель.

Водородная стратегия федерального правительства предполагает, что к 2030 году на исследование, разработку и создание структуры для производства и транспортировки водорода должно быть выделено почти 10 млрд евро. Запущен национальный конкурс по трем направлениям «зеленого» водорода, первое из которых – электролизеры промышленного масштаба с повышенным сроком службы и сниженными производственно-эксплуатационными расходами. Второе направление конкурса – надрегиональные транспортные решения для «зеленого» водорода, а третье – создание инфраструктуры производства и транспортировки водорода в общеевропейском масштабе.

Говоря о «зеленом» водороде, встает вопрос, как доказать его происхождение. Европейский альянс по «зеленому» водороду, равно как и промышленность, которая запустила инициативу сертификации водорода,

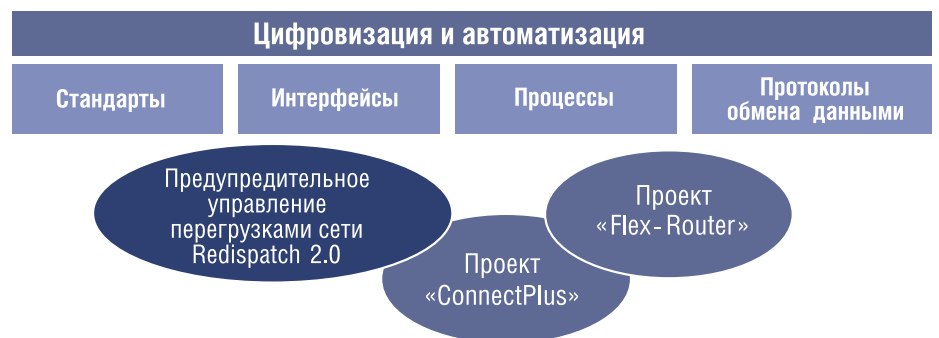
ищут сейчас пути сертификации его происхождения. За этим стоит в первую очередь известная организация по сертификации TÜV. «Зеленым» будет считаться только тот водород, который получен с 50-процентной экономией выбросов парниковых газов по сравнению с другими способами производства. Важно, чтобы сертификация происхождения водорода работала.

Еще одно направление – использование повышения гибкости в промышленности. В первую очередь речь идет о запуске новых процессов. Существуют различные исследования, которые прогнозируют, что за счет изменения промышленных процессов потенциал в этом направлении составляет от 15 до 45 гигаваатт на временном горизонте до 2025 года.

Оперируя виртуальными электростанциями, то есть объединениями через платформы генерирующих установок ВИЭ, мы получаем гораздо больший потенциал, управляющий этими генерирующими мощностями, в то время как в противном случае нам приходится оплачивать операторам генерирующих установок ВИЭ компенсацию за их отключение в размере до 710 млн евро, как это было по итогам 2019 года.

В заключение следует отметить, что существуют и другие пути повышения гибкости систем за счет различных возможностей взаимодействия, в том числе и между операторами магистральных и распределительных сетей. ■

Области кооперации операторов передающих и распределительных сетей



Авторы: Павел Драченко, Евгений Тимошенко
Руководитель: А.С. Радоман

ГУО «Грицкевичский учебно-педагогический комплекс детский сад – средняя школа», Минская область, Несвижский район, аг. Грицкевичи

GRAFENBAT – АККУМУЛЯТОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Второе место в номинации «Проект практических мероприятий по энергосбережению» XIV республиканского конкурса «Энергомарафон»

Сроки реализации: 2019–2020 гг.

Объект исследования: продукт окисления графита – графен.

Предмет исследования: возможность использования графена в аккумуляторах для накопления электроэнергии от солнечных батарей.

Мы предлагаем экологически чистый аккумулятор с электродами из графена и его использование для накопления электрической энергии от солнечных батарей для энергоснабжения собственного дома.

В данном проекте мы рассмотрели возможность создания дешевого графенового аккумулятора как наиболее безопасного для здоровья и окружающей среды, использование которого в светоэлектрической установке позволяет сэкономить условное топливо, уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу.

Цель: оценить возможность использования графена в аккумуляторах для накопления электрического тока с химической, физической, экономической и экологической точки зрения.

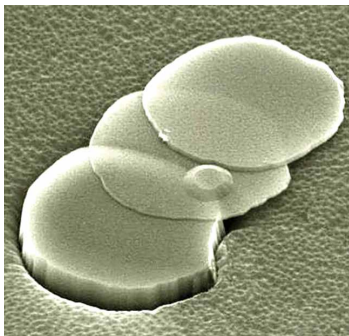
Задачи:

1. Получить графен в лабораторных условиях.
2. Сконструировать собственный графеновый аккумулятор.
3. Определить ЭДС и возможность использования аккумулятора для энергоснабжения электроприборов и собственного дома.
4. Определить экономический и экологический эффект фотоэлектрической установки.

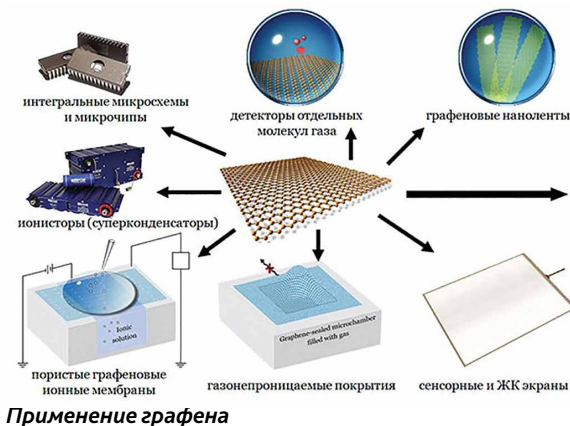
Предполагаемый результат: получение графена интеркалированием графита в присутствии концентрированной серной кислоты и перманганата калия с последующим восстановлением перекисью водорода и структуризацией в микроволновой печи на лазерном диске; конструирование графенового аккумулятора и оценка его возможности для накопления электроэнергии от солнечных батарей.

Методы реализации проекта:

- эксперимент;
- моделирование;
- сравнительный анализ.



Графен



Применение графена

История открытия графена

Теоретическое исследование графена началось задолго до получения реальных образцов материала. Химик Бенджамин Броуди еще в 1859 году первым испытал действие сильных кислот на графите, получил суспензию кристаллов оксида графена. Первые графеновые слои, выращенные на металлических подложках Ru, Rb, Ni, были получены еще в 1970 году Грантом и Блэкли. Но только в 2004 году простой метод получения образцов графена, предложенный Андреем Геймом и Константином Новоселом, позволил сотням лабораторий по всему миру включиться в исследования уникальных свойств графена.

Графен и его свойства

Графен – это слой углерода толщиной всего в один атом; фактически, двумерный материал. Новые полезные свойства этого чудо-материала продолжают открывать по сей день.

Графен – исключительно крепкий материал, его трудно разорвать, он в 200 раз крепче, чем сталь. Именно по причине невероятной прочности предполагается, что у графена огромный потенциал для применения в самых разных технологических направлениях. Графен прекрасно проводит электричество и обладает такими свойствами своей электронной сетки, которые очень интересны для создания новых приборов [1].

Каждый атом углерода имеет трех ближайших соседей, расположенных в направлениях, углы между которыми составляют 120°.

Строение и принцип действия аккумулятора

Чтобы ясно понять суть работы электрических аккумуляторов, давайте разберемся с его устройством и общим принципом действия. В основу работы всех химических источников электропитания заложены две составляющие: это пара электродов и электролит. Все это находится в емкости, которая служит корпусом для электрического аккумулятора [2].

Под воздействием внешнего источника электрического поля (в случае процесса заряда) мы принудительно превращаем одни вещества в другие, а при подключении к клеммам электрической нагрузки (создавая тем самым замкнутую цепь) мы позволяем накопленной электроэнергии выйти посредством обратного химического превращения веществ. Следует заметить, что электролит в этой электрохимической системе является переносчиком положительного заряда (ионов, оторванных от электрода), и они перемещаются внутри самого аккумулятора. А отрицательный заряд (то есть электроны) будет транспортироваться по внешней цепи, вне аккумулятора.

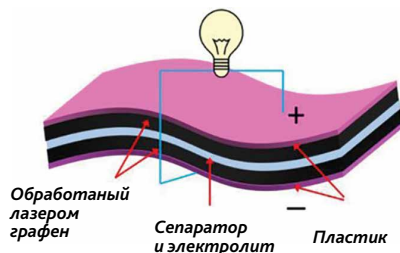


Схема графенового аккумулятора

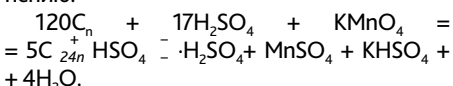
Получение суспензии оксида графена интеркалированием графита

Для получения оксида графена использовали концентрированную серную кислоту объемом 50 мл, добавили порошок графита массой 2 г и 6 г перманганата калия, полученную смесь нагревали 60 мин. на водяной бане в интервале температур 25–35°C. В результате реакции получили бисульфат графита. Затем добавили 100 мл дистиллированной воды и нагревали на водяной бане при температуре 70°C. Спустя 30 мин. добавили еще 100 мл воды и выдерживали 30 мин. при комнатной температуре. По истечении времени добавили 20 мл перекиси водорода и тщательно перемешали. Дождавшись окончания реакции, осадок отфильтровали, несколько раз промыли дистиллированной теплой водой и получили суспензию оксида графена желтовато-коричневого цвета.



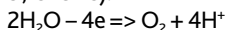
Фильтрация и промывание оксида графена

Бисульфат графита $5C_{24n}^{+}HSO_4^{-} \cdot H_2SO_4$ – бинарное соединение внедрения с серной кислотой, которая не внедряется самопроизвольно в графитовую матрицу. Поэтому необходимым условием образования бисульфата графита является использование сильных окислителей (например, $KMnO_4$) [3]. Реакция образования соединения внедрения проходит согласно приведенному уравнению:



При внедрении молекул серной кислоты в структуру графита увеличивается межслойное расстояние в кристалле и соответственно снижается энергия взаимодействия между слоями и облегчается возможность разделения графитовых слоев в жидкой фазе, что позволяет синтезировать оксид графена [4].

Интеркалированные соединения неустойчивы, поэтому легко разлагаются под действием воды, реакция происходит с выделением большого количества энергии и образованием оксида графена. В процессе гидролиза вода функционирует как восстановитель, частично восстанавливая графитовую матрицу с выделением кислорода или с образованием кислородсодержащих групп на поверхности графита ($C-COOH$, $C=O$, $C-O-C$):



В результате обработки перекисью водорода суспензия приобретает ярко-желтый цвет. Фильтрация суспензии приводит к образованию желто-коричневой массы, многократное промывание которой в большом количестве теплой воды позволяет избавиться от всех примесей и получить суспензию чистого оксида графена в воде.

Получение графена

Оксид графена нанесли на полимерный материал, высушили при комнатной температуре, пока не получилась пленка оксида графена (GO). Облучили хлопья GO в обычной микроволновой печи мощностью 1000 Вт в течение 1–2 секунд. Во время этой процедуры GO быстро нагрелся до высокой температуры, произошла десорбция кислородных групп и необходимая структуризация углеродной решетки.



Получение графена в микроволновой печи

Конструирование портативного аккумулятора «Grafenbat»

Расходные материалы, необходимые для изготовления аккумулятора, приобретались за средства внебюджетной деятельности учреждения образования.

Все исследования в рамках проекта проводились на базе лаборатории ГУО «Грицкевичский учебно-педагогический комплекс детский сад – средняя школа».

Для изготовления аккумулятора нам понадобились две пластины, вырезанные из лазерного диска, силиконовая салфетка для протирания пыли в качестве сепаратора, серная кислота плотностью 1,2 г/см³, силикагель, две небольшие медные пластинки для контактов, плотный полиэтиленовый пакет, алюминиевый скотч.

Два электрода для аккумулятора вырезали из лазерного диска. На силиконовой салфетке очертили размер сепаратора таким образом, чтобы он был на 1–2 мм большего размера, чем электроды (во избежание контакта между электродами).

Для приготовления электролита взяли концентрированную серную кислоту и разбавили до необходимой плотности дистиллированной водой. Преобразовали полученный электролит в гелеобразное состояние с помощью силикагеля. Пропитали электролитом вырезанный сепаратор.

Вставили между лазерным диском и графеном небольшие медные пластинки для контакта. Между электродами положили пропитанный электролитом сепаратор, все поместили в плотный полиэтиленовый пакет и плотно соединили с помощью алюминиевого скотча.



Взвешивание графита



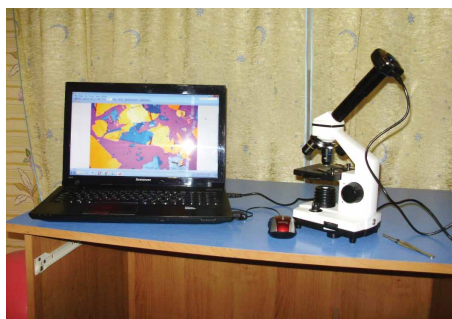
Нагревание смеси на водяной бане



Смесь + дистиллированная вода

Смесь + добавление перекиси водорода

Наблюдение за графеном в оптический микроскоп



Наблюдение за графеном в оптический микроскоп при увеличении 1280х



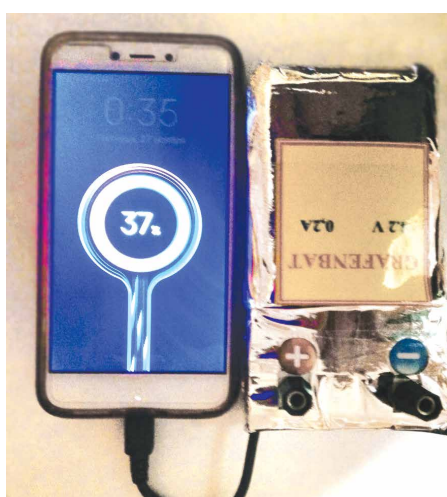
Графеновые чешуйки на поверхности пластины Si/SiO₂ от ~100 нм – бледно-желтые, 200 нм – голубые, 300 нм – фиолетовые

Поскольку для наблюдения самого тонкого материала на нашей планете необходимы чистые условия, работали в перчатках. Сначала приготовили подложку, на которую поместили графен для наблюдения в микроскопе. Для этого взяли кремниевую подложку с естественным оксидом на поверхности из фотоэлемента, которую необходимо было предварительно очистить. Для очистки приготовили раствор соляной кислоты и перекиси водорода в соотношении 1:3, поместили пластину в раствор на 30 секунд, а затем просушили.

Используя пинцет, перенесли полученный ранее оксид графена с помощью скотча на кремниевую подложку, удалили воздушные пузырьки между лентой и подложкой. Провели по поверхности образца пинцетом, несильно его придавливая к подложке в течение десяти минут. Затем очень медленно сняли ленту, придерживая подложку.

Поместили наш образец под 40-, затем под 100-кратную линзу микроскопа. В микроскопе видны множество графитовых «чешуек» разных размеров и формы, переливающихся всеми цветами радуги. Тонкие графеновые чешуйки на поверхности пластины Si/SiO₂ (слой толщиной 300 нм фиолетового цвета). Разные цвета отвечают чешуйкам разной толщины, от ~100 нм (бледно-желтые) до нескольких нанометров (наиболее близкие к фиолетовому)

Зарядка аккумулятора и проверка напряжения



Оценка возможности использования аккумулятора

Чтобы измерить напряжение и силу тока, подключили на клеммы аккумулятора зарядное устройство от мобильного телефона на 4,5 В. Затем отключили зарядное устройство, и подключили на клеммы аккумулятора лампочку напряжением 2,5 В. Подключили мультиметр и измерили напряжение. ($V = 4,4 \text{ В}$, $I = 0,2 \text{ А}$).

Мы решили проверить, как долго аккумулятор держит напряжение. Для этого с периодичностью в два дня измеряли напряжение и силу тока. Данные заносили в таблицу. И только по истечении месяца напряжение стало незначительно падать. Затем измерили напряжение и силу тока под нагрузкой – лампочка горела почти двое суток. Аккумулятор прошел более 20 циклов зарядки и не терял своих свойств.

Наш опыт показал, что графен, полученный в результате эксперимента, является отличным носителем электронов и может быть использован в аккумуляторах в качестве электродов.



Схема графенового аккумулятора

Таблица 1. Определение напряжения и силы тока алюминий-кислородного аккумулятора

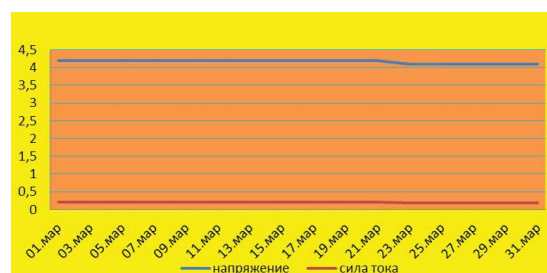
Характеристики	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
Напряжение, В	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Сила тока, А	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,19	0,19	0,185



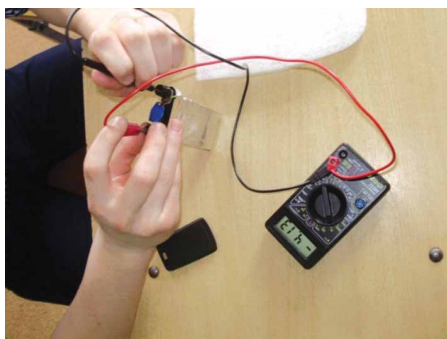
Сборка аккумулятора

Оценка возможности использования аккумулятора

Для того чтобы определить области применения полученного аккумулятора, мы выбрали наиболее значимые для нас на данный момент приборы – потребители электроэнергии: мобильный телефон и MP3-плеер – и подключили к ним аккумуля-



Графики изменения силы тока и напряжения без нагрузки и под нагрузкой



Измерение напряжения аккумулятора

лятор. Мобильный телефон заряжается и работают все приложения, MP3-плеер работает без пропадания звука.

Оценка возможности использования аккумулятора для энергоснабжения собственного дома

Аккумуляторы могут использоваться для энергоснабжения бытовых приборов, которые подходят по напряжению и силе тока, и для накопления энергии от солнечных батарей.

В наше непростое время, когда стоимость электроэнергии постоянно растет, целесообразно использовать альтернативную энергию ветра, солнца, биоэнергию.

Мы решили оценить возможность нашего аккумулятора в качестве накопителя энергии солнечных батарей для энергоснабжения домов, в которых мы живем. Наши дома одинаковые по планировке, так как строились по одному проекту в рамках президентской программы для агрогородков. Согласно схеме, для обеспечения дома энергией необходимы солнечные батареи, аккумуляторы, инвертор (преобразователь энергии). Мощность солнечных батарей подбирает-

ся исходя из объемов энергопотребления в доме.

В доме имеются следующие потребители: холодильник, телевизор, персональный компьютер, осветительные приборы, зарядные устройства для телефонов. Среднего размера холодильник класса потребления AA расходует в сутки примерно 1500 Вт; телевизор с ЖК-экраном с диагональю 81 см потребляет в час примерно 100 Вт; при просмотре телевизора на протяжении 5 часов в день это 500 Вт; компьютер потребляет 300 Вт в час, при работе на компьютере в течение 3 часов в день потребление составит 900 Вт; освещение – это пять ламп по 60 Вт, используемых по четыре часа в день: $60 \times 4 \times 5 = 1200$ Вт; зарядка трех телефонов потребует не более 10 Вт в день; стиральная машина – 1200 Вт в сутки.

Итого: $1500 + 500 + 900 + 1200 + 10 + 1200 = 5,31$ кВт в сутки, в месяц – 164,6 кВт.

Значит, для энергоснабжения наших домов необходима солнечная батарея мощностью не менее 5 кВт в сутки.

Себестоимость проекта

Произведен расчет себестоимости проекта фотоэлектрической установки (солнечной электростанции) номинальной мощностью 5 кВт с учетом закупки оборудования 01.09.2019 года за вычетом стоимости аккумулятора.

Таблица 2. Себестоимость фотоэлектрической установки

Наименование	Цена (BYN)
Солнечный модуль	1400
Инвертор HSI 5 кВт/(12 В/24 В)	500
Аккумулятор	900
Кабель	100
Итого:	2900
Без аккумуляторов	2000

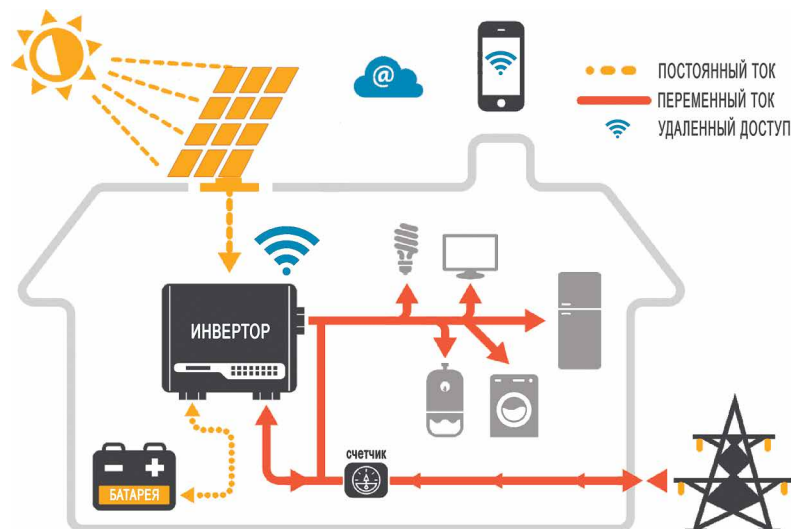


Схема фотоэлектрической установки для электроснабжения дома

Сроки окупаемости

Экономия на аккумуляторах – 900 рублей.

Стоимость электроэнергии – 0,1843 рубля за кВт.

За месяц – 30,225 рубля.

За год – 362,7 рубля.

Срок службы солнечного модуля – 25 лет.

Срок окупаемости – $2000 : 362,7 = 5,5$ лет.

Экономический эффект

Общий годовой экономический эффект в тоннах условного топлива (т у.т.) с учетом потребляемой и вырабатываемой мощности составит:

Экономия (т.у.т.):

$(5000 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 1000) \cdot 0,123 = 0,615$ т у.т.

Поскольку в данном случае условным топливом является природный газ, коэффициент при расчете т у.т. составляет 0,123.

Исходя из полученных результатов, фотоэлектрическая установка (солнечная электростанция) номинальной мощностью 5 кВт позволит ежегодно:

- получить более 5000 кВт·ч электрической энергии;
- сэкономить порядка 0,615 тонны условного топлива (природного газа);
- уменьшить выбросы углекислого газа (CO_2) в атмосферу на 1,65 тонны.

Выводы

1. Эксперимент показал, что графен является отличным проводником, а значит, может использоваться в аккумуляторах в качестве электродов.

2. В ходе проекта графен был получен интеркалированием графита в присутствии концентрированной серной кислоты и перманганата калия с последующим восстановлением водой и пероксидом водорода.

3. Полученный графен обладает высокими значениями электропроводности и теплопроводности и является отличным материалом для создания аккумуляторов и конденсаторов для накопления электрической энергии.

4. Созданный графеновый аккумулятор может быть использован для электропитания мобильного телефона, MP3-плеера и других переносных электроприборов, так как обладает большой ЭДС и очень быстро заряжается.

5. Графен не наносит вреда окружающей среде, так как не выделяет вредных веществ.

6. Данный проект позволяет получить более 5000 кВт·ч/год электрической энергии; сэкономить порядка 0,615 тонны условного топлива (природного газа); уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу (CO_2) на 1,65 тонны/год.

Проведя эксперименты, мы доказали, что графен является хорошим проводником ▶

и его можно использовать в аккумуляторах в качестве электродов. Графеновые аккумуляторы заряжаются быстрее всех остальных и имеют большее значение ЭДС.

Точности полученных данных было достаточно, чтобы подтвердить гипотезу.

Кроме того, полученный аккумулятор является экологически чистым, так как не выделяет токсичных веществ [6].

Об авторах

Руководитель проекта:

Радоман Андрей Станиславович – учитель биологии и химии (высшая квалификационная категория, опыт руководства исследовательской деятельностью учащихся – 12 лет, имеет три публикации в сборниках материалов Международного научно-практического инновационного форума INMAX'17, INMAX'18 и INMAX'19, XVI Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2.0'19» НАН Беларуси по проблеме организации исследовательской деятельности учащихся), финалист республиканского конкурса экопроектов «BELARUS GREEN AWARDS».

Авторы проекта:

Драченко Павел – учащийся 8 класса, отличник, имеет диплом III степени в секции «Химия» на XXII конкурсе работ исследовательского характера (конференции) учащихся учреждений образования Минской области, диплом II степени в республиканском конкурсе «Техноинтеллект», диплом III степени на международном форуме «Молодежь в науке 2.0'19».

Тимошенко Евгений – учащийся 8 класса, имеет диплом I степени в секции «Естественнонаучные дисциплины» на XXI конкурсе работ исследовательского характера (конференции) учащихся учреждений образования Минской области, диплом III в секции «Химия» на XXII конкурсе работ исследовательского характера (конференции) учащихся учреждений образования Минской области, диплом II степени в республиканском конкурсе «Техноинтеллект».

Список использованных источников

1. Дядин Ю.А. Графит и его соединения и включения // Соросовский образовательный портал. – 2000. – Т. 6. – С. 43–49.

2. Крыніцы электрычнага току / М.Я. Пеллеп. – Мн.: Наука и техника, 1995.

3. Современные источники питания: Справочник / В.Р. Варламов. – М.: ДМК Пресс, 2001.

4. Яковлев А.В. Фиононов А.И. Терморасширенный графит: синтез, свойства, перспективы применения // Ж. Приклад. Химия. – Т. 11. – С. 1761–1771.

5. Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007г. №3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

6. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. [Электронный ресурс] // Министерство экономики Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.srb.niks.by/info/program.pdf>. – Дата доступа: 16.01.2017.

7. Экологическая биотехнология: учебное пособие для студентов специальности «Биоэкология» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / Н.С. Ручай, Р.М. Маркевич. – Минск: БГТУ, 2006. ■

■ Энергосмесь

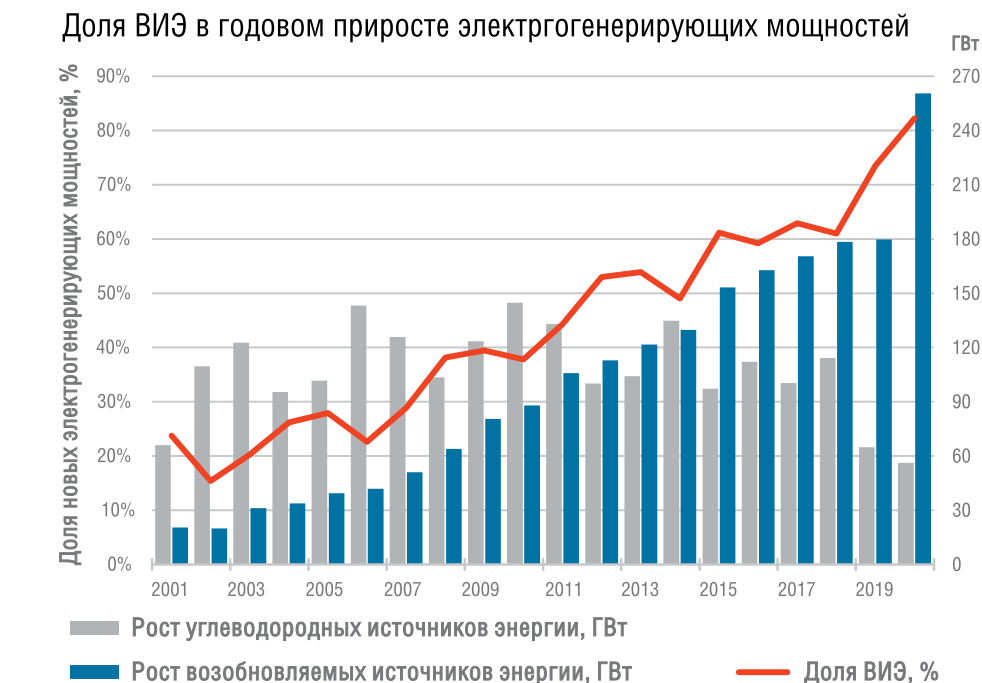
В 2020 году в мире ввели в строй 238 ГВт солнечных и ветровых электростанций – IRENA

Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) выпустило очередную версию ежегодного сборника статистических данных установленной мощности возобновляемой энергетики по странам «Renewable Capacity Statistics 2021».

Согласно последним данным IRENA, в прошлом году в мире было добавлено более 260 гигаватт мощностей электроэнергетики, работающих на основе возобновляемых источников энергии, что почти на 50% превысило показатель 2019 года. Несмотря на COVID-19, были отмечены рекордные темпы роста.

Мощность электростанций, работающих на основе ВИЭ, достигла 2799 ГВт, а их доля в общей установленной мощности мировой энергосистемы – 36,6%.

Агентство подчеркивает, что доля ВИЭ в приросте генерирующей мощности в мире за 2020 год составила 82% (см. график). Для сравнения,



в 2019 году она впервые превысила 70%. Большая часть новых мощностей ВИЭ (91%) – это солнечные и ветровые электростанции. Этим в очередной раз подтверждается, что солнечная

и ветровая энергетика становятся крупнейшими секторами мировой электроэнергетики.

В то же время общий объем прироста мощностей, работающих на основе ископаемо-

го топлива, снизился с 64 ГВт в 2019 году до менее 60 ГВт в 2020 году, что подчеркивает тенденцию энергетического перехода. ■

renew.ru

УЖЕ В 2026 ГОДУ КОЛИЧЕСТВО ПРОДАННЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ВДВОЕ ПРЕВЫСИТ КОЛИЧЕСТВО ПРОДАЖ АВТО С ДВС

В 2019 году доля продаж электромобилей составила 8% от всех транспортных средств в мире, в 2020-м – 12%. Специалисты Boston Consulting Group, которые плотно исследуют динамику изменений на рынке автомобилей, еще недавно заявляли, что доля электротранспорта вырастет до 50% не раньше 2030 года. Но стремительно развивающаяся отрасль вносит свои коррективы в прогнозы специалистов.

Ведущие мировые автомобильные бренды, такие как BMW, Volkswagen, General Motors, Toyota, Mazda, Honda, заявляют о своем переходе на новое производство. И у специалистов появились основания полагать, что к заветной цифре в 50% продаж электромобильный рынок придет до 2026 года.

Отметим, что уже в 2020 году электромобилей было продано больше, чем автомобилей с дизельными двигателями. В 2023-м ожидается, что 32% реализованных на рынке персонального транспорта машин будут с электрическим приводом. Настоящий бум продаж должен произойти в следующие два года – прогнозируется увеличение доли электромобилей до 56%. Таким образом, к 2027 году на дорогах каждая пятая машина может быть с электрическим приводом.

Как развивалась электромобильная отрасль в 2020 году

Флагманом в мире электромобилей по-прежнему остается Tesla. Компания в начале 2020 года запустила завод в Китае, который в будущем будет выпускать порядка 5 миллионов электромобилей в год. В это время британцы из Jaguar Land Rover Limited объявили, что вложат 1 млрд фунтов инвестиций в производство электромобилей. Совместный проект Volkswagen и китайского SAIC стоил еще больше. Немцы расщедрились на инвестиции в производство китайцев в размере 2,3 млрд евро.

Нельзя обойти вниманием новые альянсы. Так, Toyota объединила усилия с китайским производителем BYD, образовав новую компанию – BTEC. Ее штаб-квартира расположилась в Шэньчжэне. Также к BYD присоединился японский производитель грузовиков Hino.

Чего ожидать в 2021-м?

По итогам этого года BMW хочет довести долю электромобилей до 25% от всех продаж. Если все получится, то концерн перешагнет черту в 1 миллион реализованных электрокаров. У Toyota менее масштабные планы, компания планирует продать 30 тысяч электромобилей. Mazda

представила специальный модельный ряд электрокаров. О нем позитивно отозвались постоянные клиенты компании.

Ставка на число новых моделей электромобилей

Итальянско-американский производитель Fiat Chrysler планирует к 2022 году представить сразу 30 моделей электромобилей. Компания ожидает, что они составят 60% от всех продаж в Европе. У Ford еще более глобальные планы – 40 моделей электромобилей, у Renault-Nissan-Mitsubishi – 20. Франко-японские партнеры к этому времени готовы инвестировать в проект 11,5 млрд евро. А Honda уже к 2022 году хочет продавать в Европе только электромобили, хотя изначально такие планы ставились на 2025 год.

В 2023 году один из лидеров на рынке – BMW – планирует представить 25 моделей электромобилей, General Motors – 20. Последние в 2025-м хотят достичь продаж в 1 млн экологических видов транспорта. Также интересно узнать, удастся ли к концу 2023-го Volkswagen Group продать такое же количество электромобилей.

Какие планы у брендов на пятилетку?

Масштабные цели есть у Toyota, которая намерена реализовать около 5,5 млн электромобилей к 2025 году. Большие планы у Hyundai. К обозначенному времени компания хочет инвестировать 87 млрд в электрификацию транспортных средств и представить на суд публики 44 новые модели «электричек». Что до продаж, то они должны достичь 670 тысяч транспортных средств.

У Volkswagen Group стоит планка

к 2025 году продать 3 млн электромобилей, половина из которых будет идти под брендом Volkswagen. Volvo намерен реализовать 1 млн электромобилей.

А что будет к концу десятилетия?

В 2028-м Volkswagen Group планирует расширить линейку до 70 моделей. При этом компания не рассчитывает добиться того, чтобы половину продаж составляли электромобили. А вот у Mazda совсем другое видение. Японцы к 2030 году хотят полностью перейти на выпуск электромобилей. General Motors, Honda и Daimler планируют, что в новом десятилетии смогут реализовать электромобили более чем на 50% от производства всех транспортных средств.

Подводя черту под планами крупнейших автопроизводителей, хочется подчеркнуть главное: ни одна из ведущих компаний Германии, Швеции, Японии, Великобритании и других стран – лидеров автомобилестроения не делает ставку на развитие и модернизацию авто с двигателями внутреннего сгорания. Ставка – только на электромобили. Широкий модельный ряд, усовершенствованные технические характеристики и конкурентоспособная цена – вот три кита, на которых стоит будущее электростроения.

Белорусский сегмент

Белорусские производители электрокаров заявляют о том, что в течение 2021 года с конвейера завода «Белджи» сойдет первая тысяча электромобилей отечественной сборки. Речь идет о седане на базе китайской модели Geometry A. Этот электромобиль по внешним габаритам близок к Tesla Model 3, но проигрывает последней в первую очередь в динамике. Машина оснащена строго передним приводом с электромотором мощностью 163 л.с. Преимуществом новинки станет цена, которая будет вдвое ниже, чем у импортного конкурента, под которым, кажется, и правда подразумевается Tesla Model 3. На заводе даже озвучивают точную стоимость электромобиля, причем не в базовом, а в топовом исполнении: она не превысит 70 тысяч рублей.

Станет ли это событие новой эрой в белорусском автомобилестроении и новым, перспективным направлением в развитии электротранспорта в Беларуси, мы увидим в ближайшее время. ■

А.В. Никитенко, начальник управления перспективных энергетических технологий ПО «Белоруснефть»



А.В. Седнин,
д.т.н., проф., зав.
кафедрой «Промышленная
теплоэнергетика
и теплотехника» БНТУ

А.А. Абразовский,
к.т.н., доцент, декан факультета
повышения квалификации
и переподготовки специалистов
ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»

К.А. Кузьмич,
м.т.н., аспирант кафедры
«Промышленная
теплоэнергетика
и теплотехника» БНТУ

Е.О. Иванчиков,
м.т.н., соискатель кафедры
«Промышленная
теплоэнергетика
и теплотехника» БНТУ

МЕСТО ВОДОРОДА В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТАСИСТЕМАХ

Часть 3. Водород в качестве топлива для энергетических установок

Аннотация

В статье приведены существующие тенденции формирования и развития декарбонизированной техносферы на основе возобновляемых источников энергии и водорода. Представлен анализ научных исследований в области проектирования и конструирования энергетических установок, функционирующих на водороде и водородосодержащих топливах.

Annotation

The article presents the existing trends in the formation and development of the decarbonized technosphere based on renewable energy and hydrogen. The analysis of scientific research in the field of designing and construction of power plants operating on hydrogen and hydrogen-containing fuels is presented.

Введение

Парижское соглашение по климату закрепило консенсус мирового сообщества относительно перехода к низкоуглеродному развитию. Декарбонизация начинает определять все принципиальные трансформации в развитии человеческого общества [1]. Международное энергетическое агентство анонсировало всеобъемлющую дорожную карту для глобального энергетического сектора по достижению нулевого уровня выбросов к 2050 году и представило семь ключевых принципов для реализации этой цели [2]. В принципах определена необходимость устойчивого восстановления после кризиса, вызванного Covid-19, путем реализации дорожной карты по сокращению выбросов на текущее десятилетие и разработки более эффективных механизмов международной координации для ускорения внедрения инновационных решений по сокращению выбросов в каждой области [3].

Главная ставка сделана на использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и декарбонизированных газов, в первую очередь водорода, ко-

торый рассматривается в качестве энергоносителя и средства накопления избыточной электроэнергии. Водород, получаемый посредством электролиза с использованием ВИЭ, будет играть узловую роль в интегрированных энергосистемах, обеспечивая долгосрочное хранение энергии с возможностью подключения стохастической выработки к потребителям [4, 5].

Международное энергетическое агентство анонсировало всеобъемлющую дорожную карту для глобального энергетического сектора по достижению нулевого уровня выбросов к 2050 году и представило семь ключевых принципов для реализации этой цели.

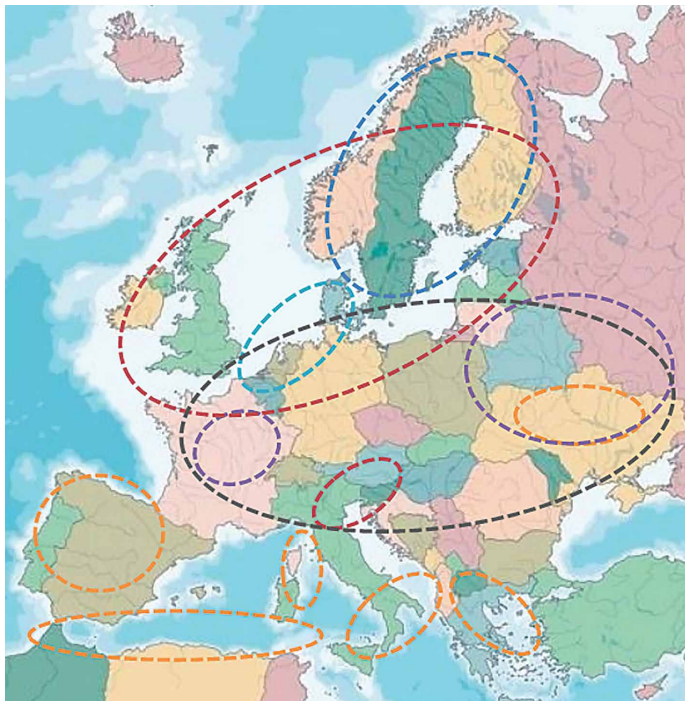
В настоящее время национальные стратегии по водороду имеются в Японии, Германии, Австралии, Республике Корея, водородная стратегия для климатически нейтральной Европы принята

в Европейском союзе [6]. План мероприятий «Развитие водородной энергетики до 2024 года» утвержден в России [7].

В ЕС с учетом особенности функционирования интегрированных энергосистем и долгосрочных целей по достижению нулевого загрязнения приоритетным является производство возобновляемого водорода с использованием энергии солнца и ветра. На пути к 2050 году объемы выработки водорода будут увеличиваться вместе с внедрением новых возобновляемых источников энергии и снижением затрат на технологии их производства. Для производства экологически чистого водорода европейской промышленной ассоциацией Hydrogen Europe разработана Инициатива зеленого водорода [8]. Цель Инициативы состоит в том, чтобы способствовать массовому производству электролизеров в ЕС с доведением их установленной мощности до 80 ГВт к 2030 году. Первая половина из них должна быть установлена на территории ЕС, вторая – в Северной Африке и Украине. Для снижения стоимости производства водорода предусматривается увеличение единичной мощно-

сти электролизеров и концентрация производственных мощностей в водородных комплексах мощностью от 1 до 10 ГВт на базе ветровых и солнечных электростанций. Большая часть произведенного таким образом водорода будет транспортироваться в удаленные места спроса, что потребует возведения водородной газотранспортной системы или использования существующей газотранспортной системы природного газа.

Развитие водородной энергетики в Российской Федерации обусловлено изменением структуры мирового потребления энергоносителей и перепроизводством углеводородных энергетических ресурсов [9]. Производство водорода и метано-водородных смесей (МВС) является перспективным направлением диверсификации и повышения эффективности использования российского природного газа. При этом для производства водорода и МВС из природного газа может быть использован как метод паровой конверсии с технологией улавливания и захоронения CO₂, так и методы, реализуемые без доступа кислорода (пиролиз, плаз-



Электролиз с использованием различных источников первичной энергии:

— солнечная; — ветровая;
— гидро; — ядерная.

Производство из метана:

— конверсия метана с улавливанием и захоронением CO₂;
— пиролиз метана и иные технологии без выбросов CO₂.

Рис. 1. Прогнозируемые зоны преимущественного распространения основных технологий производства водорода

менная конверсия и др.) и выбросов CO₂ [10].

В работах [11, 12] представлена концепция интеграции России в формирующуюся европейскую водородную экономику, в соответствии с которой производство чистого водорода из природного газа (без выбросов CO₂) следует организовывать у потребителей на территории ЕС, а также вблизи существующих компрессорных станций (КС) трансграничных магистральных газопроводов. Таким образом, природный газ будет использоваться в качестве сырья и топлива для установок по производству чистого водорода с целью удовлетворения локального спроса в пределах «водородных долин» ЕС, а также на производстве МВС для топливных нужд газоперекачивающих агрегатов КС со значительным сокращением выбросов CO₂ на транспортировку. Мощность установок по производству чистого водорода вблизи существующих КС будет определяться локальным спросом

на водород, а расходы на транспортировку водорода по новым водородным трубопроводам и/или по существующим адаптированным магистральным газопроводам будут минимизированы. Предложенная концепция позволяет оптимизировать формирующуюся европейскую водородную энергосистему с применением различных способов и технологий производства экологически чистого водорода.

На рисунке 1 представлены прогнозируемые зоны распространения основных техно-

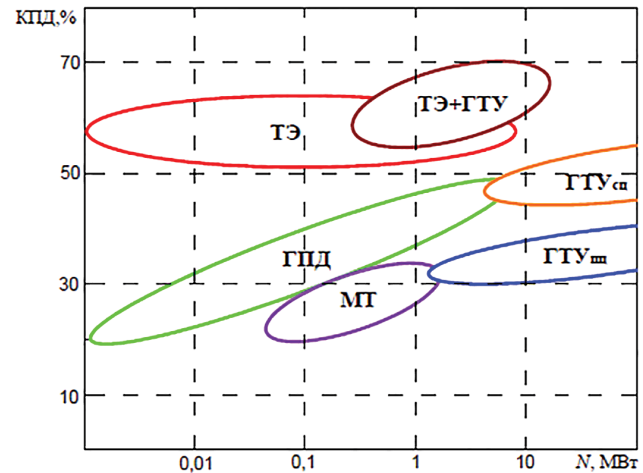


Рис. 2. Термодинамическая эффективность газотурбинных установок различных типов

логий производства водорода в Европе.

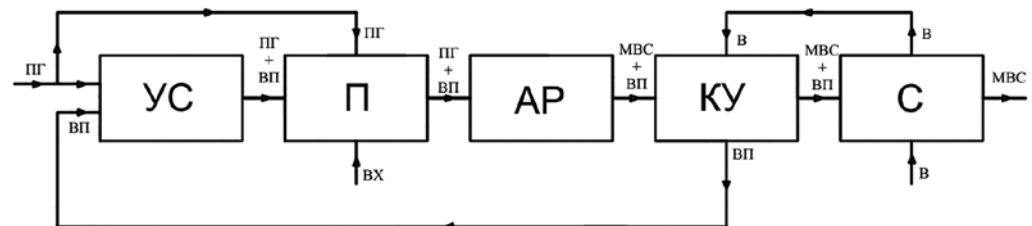
В рамках прогнозируемой сырьевой и технической диверсификации Республика Беларусь находится в зонах производства водорода посредством пиролиза природного газа и электролиза воды с использованием ядерных источников энергии.

Основная часть

Использование водорода в качестве энергоносителя и накопителя предусматривает его трансформацию в электроэнергию на той или иной стадии жизненного цикла. К основным типам энергетических установок с возможностью функционирования на водороде относятся: газотурбинные установки (ГТУ), газопоршневые двигатели (ГПД) и топливные элементы (ТЭ). На рисунке 2 представлена термодинамическая эффективность энергетических установок различных типов [13].

Газотурбинные установки.

В Российской Федерации разработана и прошла экспериментальную апробацию технология получения МВС, производимых в процессах адиабатической конверсии метана (АКМ). Технология, которая первоначально разработана для использования с высокотемпературным газоохлаждаемым ядерным реактором, стала инновационным базисом для переработки природного газа в иные энергоносители. Метод АКМ существенно упрощает технологический процесс переработки, поскольку не требует производства кислорода и происходит при более низких температурах (до 700°C), кроме того она построена на отработанных в крупнотоннажной химической промышленности технологических решениях, режимах и катализаторах [14, 15]. На рисунке 3 представлена технологическая схема производства МВС методом АКМ. ▶



УС – узел смешения; П – подогреватель; АР – адиабатический реактор; КУ – котел-утилизатор; С – сепаратор; ПГ – природный газ; ВП – водяной пар; ВХ – воздух; МВС – метано-водородная смесь; В – вода

Рис. 3. Технологическая схема производства МВС методом АКМ

Природный газ, очищенный от сернистых соединений, поступает в узел смешения с водяным паром, который генерируется в котле-утилизаторе. Смесь природного газа с водяным паром при температуре примерно 450°C подается в огневой подогреватель. На выходной линии огневого подогревателя температура смеси составляет примерно 680°C. С такой температурой смесь поступает в адиабатический реактор. В реакторе, благодаря адиабатической конверсии метана, образуются МВС и водяные пары с температурой около 590°C. Так как в адиабатическом реакторе часть воды тратится для получения водорода, производится постоянная подпитка воды в систему. В сепараторе идет очистка МВС от воды.

В зависимости от активности применяемого катализатора температура конверсии в процессе АКМ находится в диапазоне 637–659°C. При снижении активности катализатора предусмотрена возможность подогрева поступающей на конверсию парогазовой смеси до температур выше расчетной. Содержание водорода в МВС может изменяться от 0 до 44–48% посредством изменения температуры нагрева парогазовой смеси и/или разбавления МВС природным газом. Топливная смесь может быть преобразована в синтез-газ для предприятий нефтехимического комплекса, либо использована для производства водорода как целевого продукта с помощью методов короткоциклового адсорбции или мембранных крупнотоннажных технологий, освоенных в мировой практике [16].

МВС могут успешно применяться в различных отраслях энергетики, промышленности и транспорта. Актуальным и перспективным является применение МВС на объектах газотранспортной системы, в первую очередь на КС магистральных газопроводов. В большинстве случаев в качестве газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций используются приводные газотурбинные установки, располагающие значительным объемом тепловых

вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые могут утилизированы в различных типах комбинированных энерготехнологических установок [17].

Применение технологий термохимической утилизации ВЭР продуктов сгорания ГТУ позволяют получить МВС для топливных нужд установки. В ПАО «Газпром» создана опытная установка по получению МВС производительностью 1000 м³/ч [16]. Температура нагрева парогазовой смеси в установке составляет 700°C, что позволяет получать МВС с высоким содержанием водорода. Установка дает возможность повысить степень конверсии метана, снизить тепловые затраты, продлить срок использования катализатора адиабатического реактора. Исследования, проведенные в 2016 г., показали, что применение МВС, полученной на установке, позволяет существенно улучшить эмиссионные показатели ГТУ с выходом при высоких значениях коэффициента избытка воздуха на низкие значения токсичных выбросов NO_x (11 мг/м³) с одновременным резким снижением СО (20 мг/м³), при этом выбросы СО₂ снижаются на 30%. Так, при использовании метана в качестве топливного газа ГТУ (нагнетатель НЦ16-76/1.44) объем выбросов СО₂ составляет 6,2 т на один миллион кубометров перекачиваемого газа, а при использовании МВС с тем же нагнетателем – 4,4 т [14]. Следующим запланированным этапом является организация блочно-комплектного исполнения оборудования по производству МВС (его унификация) для серийного производства и тиражирования технологии на объектах газотранспортной системы [10].

Основные производители энергетического оборудования, включая Mitsubishi Hitachi Power Systems, Kawasaki Heavy Industries, Siemens Energy, Ansaldo Energia, GE Power, принимают участие в разработке водородных газовых турбин [18]. Главные задачи, которые стоят перед разработчиками, – это нивелирование воздействия повышенного температурного уровня на объемы выбросов

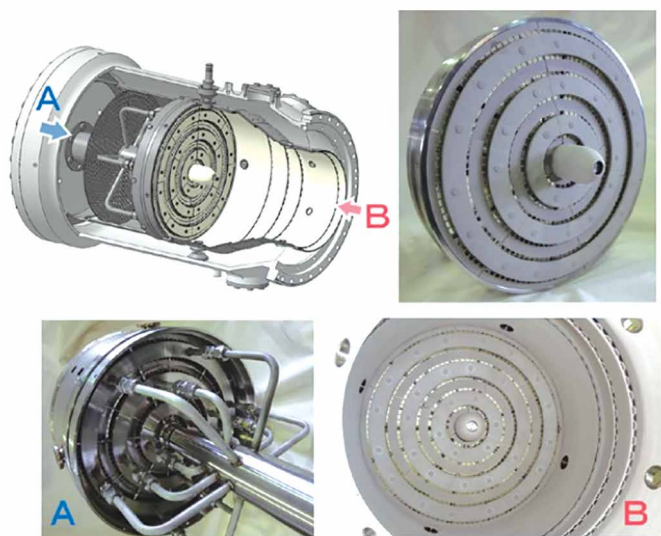


Рис. 4. Устройство камеры сгорания с сжиганием малых порций топлива

NO_x и повышенный износ конструктивных элементов камер сгорания ГТУ [19].

В корпорации Kawasaki Heavy Industries проведены исследования в области эффективных технологий сжигания водородосодержащих топлив в ГТУ. Разработаны три типа камер сгорания для работы с водородосодержащим топливом:

- камера сгорания с диффузионным пламенем и впрыском воды для содержания водорода в смеси с природным газом от 0 до 100% (при работе чистом водороде выбросы NO_x составляют 50 ppm);

- стандартная камера сгорания с дополнительной горелкой и возможностью добавления в топливо 60% водорода (выбросы NO_x поддерживаются на уровне 25 ppm);

- камера сгорания с сжиганием малых порций топлива для содержания водорода в смеси с природным газом от 0 до 100% (при работе чистом водороде выбросы NO_x составляют 20 ppm).

Значительное снижение выбросов NO_x достигается при совершенствовании процессов смесеобразования компонентов горения и снижении продолжительности пребывания компонентов в зоне предельно высоких температур. Это достигается посредством реализации принципа сжигания малых порций топлива. Топливо подается через отверстия малого ди-

аметра в направлении, перпендикулярном движению потока окислителя. Размер отверстий составляет от 0,3 до 1 мм, а их количество находится в диапазоне от 410 до 1600. При реализации данного принципа сжигания чистого водорода возможно снижение выбросов NO_x до 20 ppm [20]. На рисунке 4 представлено устройство камеры сгорания с сжиганием малых порций топлива.

Газопоршневые двигатели. Многие мировые производители газопоршневых установок конструируют и поставляют двигатели, работающие на различных видах горючих газов (биогаз, угольный газ, коксовый газ и др.) [21]. Некоторые из этих газов имеют в своем составе значительное содержание водорода, достигающее 70%. Многолетний опыт эксплуатации агрегатов на коксовом газе TCG2032V16 производства MWM имеется на коксохимическом предприятии Italiana Coke с суммарной установленной электрической мощностью оборудования, равной 25 МВт.

Основным критерием для газового топлива, используемого в газопоршневых двигателях, является детонационная стабильность: газовая смесь не должна произвольно воспламеняться до момента зажигания, а после зажигания не должна происходить неконтролируемая детонация смеси за счет самовоспламенения. Поэтому в уста-

Таблица 1. Технические характеристики ТЭ различных типов

Характеристика	Тип топливного элемента				
	ПОМТЭ	ЩТЭ	ФКТЭ	РКТЭ	ТОТЭ и ПКТЭ
Температура, °С	60–100	50–250	160–200	600–700	550–850
Электролит	Полимер	КОН	H ₂ PO ₄	LiCO ₂ / K ₂ CO ₃	Y ₂ O ₂ -ZrO ₂
Анод	Pt/C	Pt/C	Pt/C	Ni	Ni
Катод	Pt/C	Pt/C	Pt/C	NiO	NiO
Основное топливо	H ₂	H ₂	Синтез-газ	Синтез-газ	Синтез-газ
Окислитель	O ₂ /воздух	O ₂ /воздух	O ₂ /воздух	O ₂ /воздух	O ₂ /воздух
КПД, %	≈ 60	≈ 60	≈ 42	≈ 50	≈ 75
Диапазон мощности, кВт	0,001–500	0,001–100	50–11000	200–5000	0,01–250
Область применения	Транспортные, переносные, стационарные	Переносные, стационарные	Стационарные	Стационарные	Стационарные

новках, предназначенных для работы на горючих газах со значительным содержанием водорода для исключения эффекта детонации и перегрева двигателя осуществляется регулировка зажигания и подачи топлива отдельно в каждом цилиндре. В зависимости от состава газа требуются различные конфигурации газовых двигателей для достижения оптимального соотношения мощности и эффективности [21].

В работах [22, 23, 24] исследован вопрос повышения детонационной стойкости топлива на основе водорода посредством использования топливных добавок, характеризующихся меньшей детонационной способностью. В качестве такого рода топливной добавки использован метан. Также рассмотрен вариант отказа от привлечения дополнительных горючих компонент с повышением детонационной стойкости топлива за счет добавления к водороду водяного пара или использования в качестве топлива бедных водородно-воздушных смесей.

В [24] приведены результаты экспериментального и расчетно-теоретического исследования сгорания обедненных смесей на основе водорода в двигателе с искровым зажиганием. На базе газопоршневого электроагрегата АГ-75 создана экспериментальная установка с выделенным цилиндром, позволившая проводить исследования на различных видах газомоторного топлива с получением индикаторных диаграмм

и показателей рабочего процесса. Обоснована возможность использования чистого водорода в качестве топлива газового двигателя с внешним смесеобразованием, искровым зажиганием и степенью сжатия 11,4 при качественном регулировании без каких-либо нарушений рабочего процесса. В качестве горючего использовался водород и смесь «водород (90%) – метан (10%)», взятые в соотношении с воздухом с коэффициентами избытка воздуха 1,4–3,0. При горении водородно-воздушной смеси с меньшим коэффициентом избытка воздуха экспериментально наблюдались «обратные вспышки» во впускном коллекторе. В указанном диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха по полученным в эксперименте индикаторным диаграммам определены основные показатели работы двигателя. Индикаторный КПД для смесей «водород–воздух» составил 30–32%. В смесях с добавлением метана был получен наибольший КПД – 37%, реализуемый при использовании более раннего зажигания.

В 2020 году в Гамбурге введена в эксплуатацию пилотная когенерационная установка на базе газопоршневого двигателя электрической мощностью 1 МВт. Газовый двигатель INNIO Jenbacher переоборудован для работы на различных видах топлива, от природного газа до чистого водорода. Предварительно двигатель успешно прошел все испытания на стенде и продемонстрировал надеж-

Эффективность современных серийно выпускаемых ТЭ составляет около 75% с возможностью ее увеличения до 80%, что позволяет создавать энергоустановки на базе ТЭ с электрическим КПД, равным 60–65%.

ную и эффективную работу на смеси природного газа с водородом при содержании водорода от 0 до 100% [25].

Топливные элементы. Реализация большинства национальных стратегий по водороду предусматривает применение такого вида оборудования, как топливные элементы [26]. ТЭ представляет собой устройства, преобразующие химическую энергию топлива и окислителя непосредственно в электрическую в результате электрохимической реакции. Область применения ТЭ охватывает как переносные, так и стационарные устройства. Преимуществами энергетических установок с ТЭ являются высокая энергетическая эффективность, надежность, бесшумность, отсутствие вредных выбросов [27, 28]. Эффективность современных серийно выпускаемых ТЭ составляет около 75% с возможностью ее увеличения до 80%, что позволяет создавать энергоустановки на базе ТЭ с электрическим КПД, равным 60–65% (рисунки 2). В диапазоне мега-

ваттных мощностей для комбинированных циклов с ГТУ или ПГУ электрический КПД составляет 70–75%. Эффективность использования химической энергии топлива в когенерационных и тригенерационных циклах достигает 90% [29]. Эффективность использования комбинированных установок в нашей стране ранее нами рассматривалась применительно к биогазовым комплексам [30].

Классификация ТЭ осуществляется по типу электролита и рабочим температурам [27, 28]. К низкотемпературным ТЭ относятся ТЭ с полимерной протонобменной мембраной (ПОМТЭ), прямые метанольные ТЭ (ПМТЭ) и щелочные ТЭ (ЩТЭ); к среднетемпературным – фосфорно-кислотные ТЭ (ФКТЭ); к высокотемпературным: расплав-карбонатные ТЭ (РКТЭ), твердооксидные ТЭ (ТОТЭ) с керамической мембраной. В таблице 1 приведены технические характеристики ТЭ различных типов.

В настоящее время ТЭ являются дорогостоящими установками, что обусловлено незначительными объемами производства. Переход к более массовому производству неизбежно приведет к снижению их стоимости. В последние годы в мире идет рост реализации энергоустановок с ТЭ. В 2019 г. их годовая реализация достигла 70,9 тыс. единиц, а суммарная установленная мощность – 1129,6 МВт, в том числе: 907,8 МВт – транспортные ТО; 221,2 МВт – стационарные установки ТО; 0,6 МВт – портативные ТО [31]. ▶

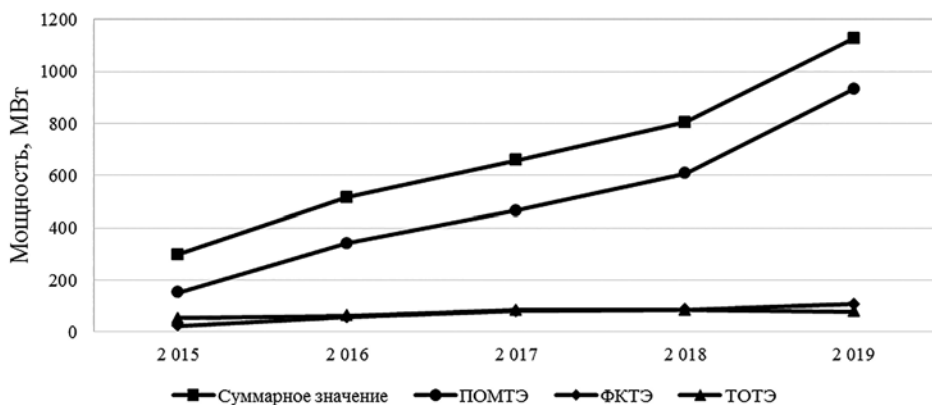


Рис. 5. Тренд производства ТО по основным типам

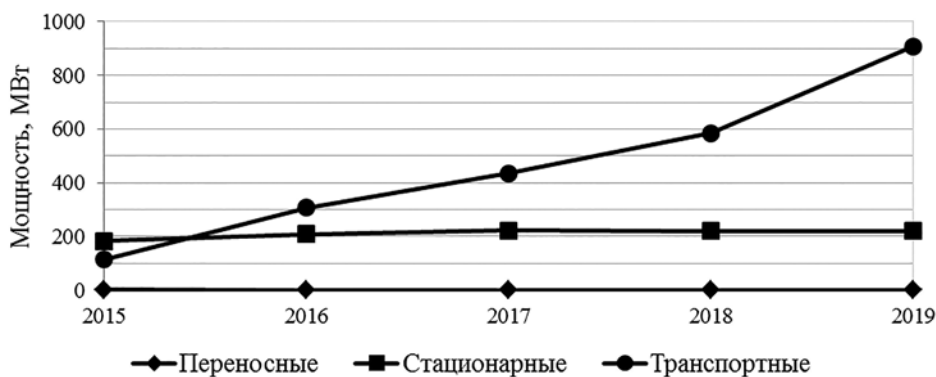


Рис. 6. Тренд производства ТО по основным группам

На рисунках 5, 6 приведены тренды производства ТО различных типов и групп за период времени с 2015 по 2019 годы.

Выводы

1. В рамках глобальной декарбонизации главная ставка сделана на использование возобновляемых источников энергии и декарбонизированных газов, в первую очередь водорода, который рассматривается в качестве энергоносителя и средства накопления избыточной электроэнергии.

2. Для формирования европейской водородной энергосистемы целесообразно использовать различные технологии производства экологически чистого водорода: электролиз воды с использованием ВИЭ, конверсию природного газа с улавливанием и захоронением CO₂, пиролиз природного газа и проч. Для Республики Беларусь основными технологиями производства водорода в рамках ее прогнозируемой сырьевой и технической дивер-

В рамках глобальной декарбонизации главная ставка сделана на использование возобновляемых источников энергии и декарбонизированных газов, в первую очередь водорода, который рассматривается в качестве энергоносителя и средства накопления избыточной электроэнергии.

сификации следует считать пиролиз природного газа и электролиз воды с использованием ядерных источников энергии.

3. К основным типам энергетических установок с возможностью функционирования на водороде относятся газотурбинные установки, газопоршневые двигатели и топливные элементы, но учитывая преимущества и недостатки каждого из этих видов, следует ожидать

применение многоцелевых комбинированных установок с коэффициентом преобразования энергии около 90%.

Литература

1. Парижское климатическое соглашение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minpriroda.gov.by/ru/paris-ru/>. – Дата доступа: 16.07.2020.

2. Energy and climate leaders from around the world pledge clean energy action at the IEA-COP26 Net Zero Summit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/news>. – Дата доступа: 16.04.2021.

3. Seven Key Principles for Implementing Net Zero [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/df3b6d08-f228-426c-b1ad-7d488d3e9d2d/SevenKeyPrinciplesforImplementingNetZero.pdf>. – Дата доступа: 16.04.2021.

4. Седнин, В.А. Место водорода в современных энерготехнологических метасистемах. Часть 1. Производство и потребление водорода в промыш-

ленном секторе / В.А. Седнин, А.А. Абрамовский // Энергоэффективность. – 2020. – №10. – С. 26–30.

5. Седнин, В.А. Место водорода в современных энерготехнологических метасистемах. Часть 2. Водород в интегрированной энергосистеме / В.А. Седнин, А.А. Абрамовский // Энергоэффективность. – 2020. – №11. – С. 16–22.

6. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf. – Дата доступа: 23.09.2020.

7. План мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/19194>. – Дата доступа: 20.01.2021.

8. Green Hydrogen for a European Green Deal 2x40 GW Initiative [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Europe_2x40%20GW%20Green%20H2%20Initiative%20Paper.pdf. – Дата доступа: 10.02.2021.

9. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>. – Дата доступа: 20.01.2021.

10. Энергетический бюллетень. Водородная энергетика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo_energo_oct_2020.pdf. – Дата доступа: 10.02.2021.

11. Конопляник, А.А. Чистый водород из природного газа / А.А. Конопляник // Газпром. – 2020. – №9. – С. 20–29.

12. Конопляник, А.А. Декарбонизация газовой отрасли в Европе и перспективы для России. Чистый водород из природного газа как новая основа для взаимовыгодного сотрудничества РФ ЕС в газовой отрасли. Часть 1 / А.А. Конопляник // Газпром. – 2020. – №9. – С. 20–29.

13. Филипов, С.Е. Топливные элементы и водородная энергетика / С.Е. Филипов, А.А. Голодницкий, М.Ф. Иванов, А.Д. Кашин // Энергетическая политика. – 2020. – № 11. – С. 28–40.
14. Аксютин, О.Е. Вклад газовой отрасли в формирование энергетической модели на основе водорода / О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков, К.В. Романов, Р.В. Тетерлев, Е.А. Пыстина // Вести газовой науки. – 2017. – №5. – С. 12–20.
15. Аксютин, О.Е. Потенциал метано-водородного топлива в условиях перехода к низкоуглеродной энергетике / О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков, К.В. Романов, Р.В. Тетерлев, В.Г. Хлопцов // Газовая промышленность. – 2017. – №1. – С. 82–85.
16. Казарян, В.А. Концепция создания крупномасштабных систем производства и распределения метано-водородного топлива как эффективного альтернативного энергоносителя / В.А. Казарян, В.Г. Хлопцов, В.А. Михаленко, А.Я. Столяревский // Газовая промышленность. – 2018. – №11. – С. 114–119.
17. Абрамовский, А.А. Энергообеспечение мясоперерабатывающих предприятий утилизацией вторичных энергетических ресурсов компрессорных станций: дис. канд. техн. наук : 05.14.04 / А.А. Абрамовский. – Минск, 2020. – 160 л.
18. Several companies are developing gas turbines powered by high-hydrogen-volume fuel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hydrogenfuelnews.com/wp-content/cache/all/major-power-equipment-manufacturers-focus-on-hydrogen-gas-turbine-development/8537472/index.html>. – Дата доступа: 27.04.2021.
19. Hydrogen gas turbines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://etn.global/news-and-events/hydrogen-gas-turbines-report/>. – Дата доступа: 27.04.2021.
20. Enhancement of fuel flexibility of industrial gas turbines by development of innovative hydrogen combustion systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kawasakigasturbine.de/files/Hydrogen_as_fuel_for_GT.pdf. – Дата доступа: 15.04.2021.
21. Автономное производство энергии с использованием водородсодержащих газов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mwm.com.ru/gazovye-dvigateli-blochnye-tehc/kompetencii-mwm/ispolzovanie-gaza/vodorodsoderzhashchie-gazy/>. – Дата доступа: 04.03.2021.
22. Смыгалина, А.Е. Влияние состава горючих смесей на основе водорода на воспламенение и горение: дис. канд. техн. наук : 01.04.14 / А. Е. Смыгалина. – М., 2018. – 120 л.
23. Смыгалина, А.Е., Горение смесей на основе водорода в газопоршневом двигателе / А.Е. Смыгалина, В.М. Зайченко, М.Ф. Иванов, А.Д. Киверин // Изв. РАН. Энергетика. – 2015. – №2. – С. 120–130.
24. Зайченко В.М. Горение обедненных смесей на основе водорода в двигателе с искровым зажиганием / В.М. Зайченко, А.Д. Киверин, А.Е. Смыгалина, А.И. Цыпкалов // Изв. РАН. Энергетика. – 2015. – №2. – С. 120–130.
25. Новый водородный двигатель INNIO готов к работе после прохождения всех испытаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.innio.com/en/news-media/news/press-release/new-hydrogen-engine-from-innio-ready-for-operation-after-passing-all-tests>. – Дата доступа: 04.03.2021.
26. The National Hydrogen Strategy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bmw.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=4. – Дата доступа: 03.04.2021.
27. Лебедева, М.В. Топливные элементы – характеристики, физико-химические параметры, применение. Учебное пособие / М.В. Лебедева, Н.А. Яштулов. – М.: Мир науки, 2020. – 63 с.
28. Топливные элементы (топливные ячейки) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy-units.ru/toplivnye-elementy/>. – Дата доступа: 04.03.2021.
29. Кашин, А.М. Энергетические установки с топливными элементами – перспективы практического использования в электроэнергетике / А.М. Кашин, А.Э. Голодницкий // Вести в электроэнергетике. – 2019. – №1. – С. 37–48.
30. Седнин, В.А. Энергетическая система для биогазовых комплексов на базе топливных элементов / В.А. Седнин, А.А. Чичко, А.А. Матявин // Энергия и менеджмент. – 2014. – №4–5. – С. 26–30.
31. The Fuel Cell Industry Review 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fuelcellindustryreview.com/archive/TheFuelCellIndustryReview2019.pdf>. – Дата доступа: 03.04.2021. ■

Статья поступила в редакцию 3.05.2021

Энергосмесь

Без обновления сетей – никуда

Пропускная способность существующих эксплуатируемых распределительных электрических сетей не везде позволяет применение электроэнергии для нужд отопления и горячего водоснабжения. Зачастую без реконструкции не обойтись. Об этом рассказал заместитель генерального директора — главный инженер ГПО «Белэнерго» Владимир Бобров.

Он отметил, что ежегодно в Беларуси строится и реконструируется около 1,6 тысячи километров линий электропередачи. Планируется поэтапно увеличивать этот объем, что позволит создать дополнительные возможности для использования жилым фондом электроэнергии для целей отопления и горячего водоснабжения.

Возможность компенсировать затраты на подключение – серьезная и действенная мера. Нормы принятого Указа № 127 по возмещению части расходов на выполнение работ по электроснабжению эксплуатируемого жилищного фонда для нужд отопления, горячего водоснабжения и пищевого приготовления распространяются на все категории граждан, проживающих в населенных пунктах, в том числе малообеспеченных и иные социально уязвимые категории. ■

minenergo.gov.by

«Иста Митеринг Сервис» • 220034, г. Минск, ул. 3. Бядули, 12
тел.: (017)271-3311, 224-6849, 224-6858; факс: (017)224-0569
e-mail: minske@ista.by • <http://www.ista.by>
отдел расчетов: (017)224-5667 (-68) • e-mail: billing@ista.by



- Система индивидуального (поквартирного) учета тепловой энергии на базе распределителей тепла «Экземпер», «Доприно III радио»: от монтажа приборов до абонентских расчетов для десятков тысяч потребителей.
- Энергосберегающее оборудование «Данфосс», «Заутер», «Петтинароли»: радиаторные термостаты, системы автоматического регулирования отопления зданий, арматура.
- Приборы учета тепловой энергии «Сенсоник II» с расходом теплоносителя от 0,6 до 2,5 м³/ч с возможностью удаленного сбора информации.
- Запорно-регулирующая арматура: шаровые краны, радиаторные вентили, задвижки, фильтры, компенсаторы, обратные клапаны и т.д.
- Насосное оборудование «Грундфос».

УНП 100338436

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ WEG

В ОБЛАСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Высокий темп развития информационных технологий ведет к необходимости осваивать новые компетенции в получении, обработке, хранении и анализе информации. На сегодняшний день скорость принятия решений является одним из важнейших критериев успеха практически в любой области знаний. От того, насколько быстро компания оперирует данными, зависит ее эффективность. Не зря Натан Ротшильд говорил: «Кто владеет информацией, тот владеет всем миром». Однако информация представляет ценность, если она поступает своевременно.

Помимо того, чтобы получать информацию, ее еще нужно обрабатывать, анализировать, систематизировать и хранить. Крупнейшие ИТ-гиганты уже давно научились работать с информацией. В сфере бытового применения уже ни у кого не возникает вопросов о том, как происходит

взаимодействие пользователя с активами, заключенными в цифровое пространство Интернета. Возросшие потребности в бытовом сегменте (скорость получения выгод и повышение качества жизни) вызвали нарастание темпов развития в производственной среде.



В 2011 году в Германии руководителями крупнейших производственных холдингов, политиками и учеными была принята инициатива по разработке концепции «Индустрия 4.0». Концепция представляет собой масштабную интеграцию киберфизических систем в производственные процессы и обслуживание человеческих потребностей. Важнейшим элементом данной концепции является передача данных через беспроводную сеть. Как и предыдущие промышленные революции, реализация «Индустрии 4.0» сопровождается развитием определенных технологий. Специалисты выделяют следующие ключевые понятия:

- большие данные (Big data);
- Интернет вещей (IoT);
- облачные вычисления (Cloud computing), в том числе искусственный интеллект (Artificial Intelligence);
- моделирование и адаптивное производство;
- виртуальная и дополненная реальность;
- 3D-печать;
- блокчейн.

Компания WEG — крупнейший мировой производитель электротехнического оборудования с 60-летней историей и огромным накопленным опытом — спешит поделиться разработками в области применения практик прогнозного анализа состояния производственных активов и оптимизации технического обслуживания.

Нашими специалистами был разработан программно-аппаратный комплекс WEG MFM. Система представляет собой считывающий модуль WEG Motor Scan и программную среду для мониторинга активов и регулярного профилактического обслуживания. Целью такого мониторинга является оптимизация использования ресурсов, повышение коэффициента готовности оборудования, а также сокращение прямых и косвенных затрат, связанных с профилактическим и внеплановым корректирующим обслуживанием. Система построена по принципу соответствия современным требованиям концепции «Индустрия 4.0» и обеспечивает главный принцип постоянного удаленного мониторинга технического состояния промышленного оборудования.

Удаленный мониторинг оборудования открывает безграничные возможности для промышленных предприятий. Решение WEG MFM позволяет осуществлять мониторинг состояния целого парка электродвигателей в режиме реального времени и получать данные о параметрах работы оборудования (температура, вибрации, сила тока, мощность, время работы, простои), что в свою очередь дает возможность эффективно осуществлять (профилактику) прогнозирование возможных отказов.

На основе данных, собранных датчиками WEG Motor Scan, решение WEG MFM, работающее по технологии облачных вычислений, позволяет пользователю получить доступ к параметрам контролируемого оборудования независимо от местоположения, при наличии подключения к Интернету и соответствующего плана подписки.

Благодаря WEG MFM пользователи могут осуществлять удаленный мониторинг следующих параметров оборудования:

- Текущий статус оборудования.
- Эксплуатационные параметры.
- Уровень вибрации по трем направлениям.
- Скорость вращения (об./мин.).
- Мощность.
- Энергопотребление.
- Ток.
- Напряжение.
- Настраиваемые предупреждения и аварийные сигналы.

• Ежедневные и ежемесячные отчеты в виде графиков и трендов, или в табличном виде.

В рамках ежегодной подписки на использование возможностей WEG MFM пользователи получают графическое представление трендов по каждому из измеренных параметров. Это в свою очередь положительно влияет на:

- повышенную безопасность и производительность оборудования,
- оперативное реагирование на возможные поломки и отказы оборудования в будущем,
- снижение влияния человеческого фактора на процесс мониторинга состояния,
- уменьшение затрат на обслуживание и эксплуатацию,
- повышение качества производственных процессов,
- доступность информации.



Особенность WEG MFM заключается в первоначальном сборе данных сканерами WEG Motor Scan, отправке данных на платформу WEG MFM, их дальнейшем хранении и анализе. Обработанные данные представляются пользователю в виде графиков и диаграмм, являясь источником анализа текущего состояния оборудования. Такой подход смело можно охарактеризовать термином «умное техническое обслуживание».

Для детального обзора возможностей системы и презентации просим обращаться к представителям компании WEG в вашем регионе. ■

Вадим Беркун
WEG DIGITAL BUSINESS
 Тел.: +7 812 600-55-05, вн. 752
 Моб.: +7 911 112-02-82
 vadim@weg.net



О.А. Любчик,
 м.т.н., аспирант, кафедра ЮНЕСКО
 «Энергосбережение и возобновляемые
 источники энергии» БНТУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УДК 620.91

Аннотация

В статье проведен анализ динамики изменения численности основных сельскохозяйственных животных и птицы в Республике Беларусь. На основе выявленных трендов дан прогноз изменения их численности. Определены теоретический и технически возможный потенциалы получения биогаза из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных на начало 2020 года, а также дан прогноз на ближайшие 10 лет. Выявлены основные положительные эффекты использования биогаза, дана оценка влияния освоения потенциала биогаза на энергетическую безопасность страны.

Ключевые слова: биогаз, теоретический потенциал, технически возможный потенциал, прогноз, животноводство.

Annotation

Study of the biogas production in livestock complexes potential in the Republic of Belarus

The article analyzes the main types of livestock and poultry number dynamics in the Republic of Belarus, gives a forecast of their number on the basis of the identified trends. The theoretical and technically feasible potential of biogas production from livestock and poultry waste at the beginning of 2020 was estimated; a forecast for the next 10 years was given. The main positive effects of biogas usage were identified; also the biogas potential development impact on the energy security of the country was assessed.

Keywords: biogas, theoretical potential, technically feasible potential, forecast, livestock sector.

Введение

Производство электроэнергии из биогаза в мире за десять лет возросло почти в два раза: с 46,3 тыс. ГВт·ч в 2010 году до 88,4 тыс. ГВт·ч в 2018 году, в то время как мировое потребление электроэнергии за аналогичный период увеличилось на четверть и к 2018 году составило 24,7 млн ГВт·ч [1, 2].

70% всей произведенной из биогаза электроэнергии было получено на территории Европы, лидером с долей более чем 50% является Германия. Среди прочих стран, активно внедряющих биогазовые технологии, – Италия, Китай, Франция, Чехия, Таиланд, Турция. Себестоимость производства энергии из биогаза в Германии составляет 0,07–0,11 евро/кВт·ч, в то время как из природного газа – колеблется в пределах 0,09–0,20 евро/кВт·ч [3]. Стоит отметить, что в обоих случаях из себестоимости исключена топливная составляющая по причине чаще всего бесплатного субстрата для работы биогазовой установки и изменяющейся цены на природный газ. Срок окупаемости биогазовых установок, согласно исследованиям [4–6], не превышает 10 лет.

На территории Республики Беларусь находится большое число животноводческих комплексов, что позволяет рассматривать отходы жизнедеятельности содержащихся там животных и птиц в качестве надежной сырьевой базы для получения биогаза.

В Стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь 09.08.2010 № 1180, объем производства биогаза оценивался в 503,7 млн м³, что эквивалентно 433,2 тыс. т у.т. [7]. Согласно Национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь 10.05.2011 № 586, общий потенциал выработки биогаза только на фермах и комплексах по выращиванию крупного рогатого скота (далее КРС), свиней и птицы составлял 4158,5 млн м³, что эквивалентно 3,18 млн т у.т. Однако при внедрении установок электрической мощностью более 150 кВт, что осуществимо только в крупных хозяйствах, эффект от использования биогаза уменьшается до замещения 635,5 тыс. т у.т. ввиду неиспользования сырья из небольших хозяйств [8]. В исследовании белорусских ученых [9] теоретический потенциал биогаза в 2011 году был оценен на уровне 1603 млн м³, что эквивалентно 1259 тыс. т у.т.

Учитывая значимые различия данных о существующем потенциале биогаза, а также динамику изменения поголовья сельскохозяйственных животных и птицы, целесообразно произвести оценку потенциала биогаза в Республике Беларусь в настоящее время, а также построить прогноз изменения потенциала на ближайшие годы.

Основная часть

Динамика и прогноз численности сельскохозяйственных животных, содержащихся в хозяйствах Республики Беларусь

По состоянию на начало 2020 года численность крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий в Республике Беларусь составила 4295 тыс. голов, свиней – 2882 тыс. голов, овец и коз – 149 тыс. голов, лошадей – 38 тыс. голов, птицы – 53 млн голов [10]. Динамика изменения численности поголовья наиболее многочисленных видов скота и птицы в хозяйствах Республики Беларусь представлена на рис. 1.

Увеличение численности КРС в период с 2006 по 2013 год связано с развитием не только мясного, но и молочного направления. За указанный период на фоне общего снижения доли расходов населения на продукты питания расходы на молочную продукцию имеют наибольший рост к предыдущим годам – на 22% по сравнению с прочими категориями продуктов питания при аналогичном индексе потребительских цен [11, 12]. С 2013 по 2020 год поголовье крупного рогатого скота остается относительно стабильным с колебаниями не более 1% от среднего значения за указанный период. Данный факт можно трактовать как нахождение некоторой точки равновесия между производством, потреблением, импортом и экспортом.

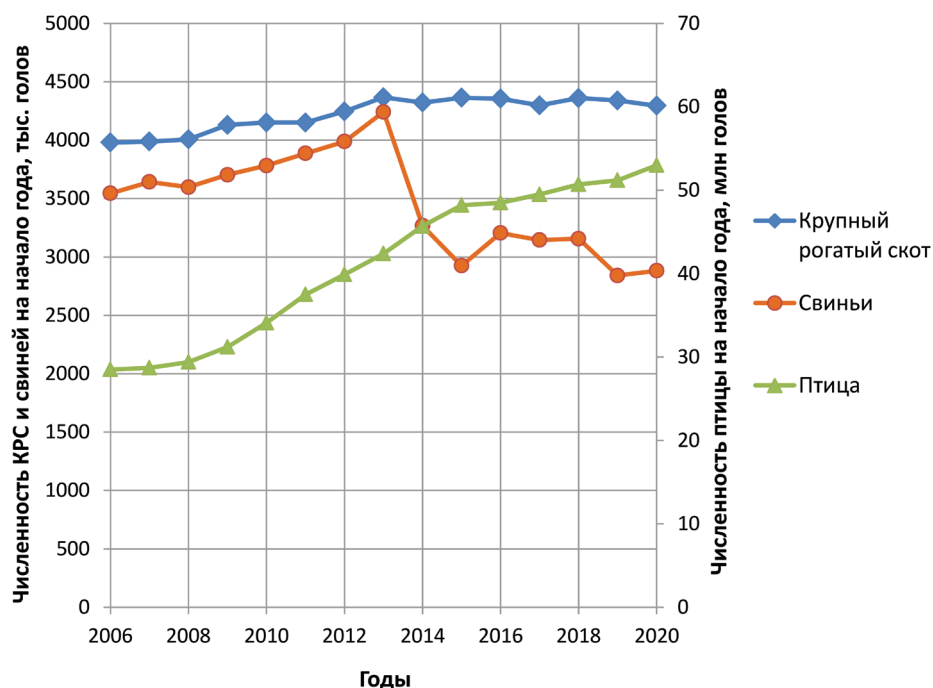


Рис. 1. Динамика изменения численности КРС, свиней и птицы в Республике Беларусь

Также можно сделать предположение о сохранении стабильности в ближайшие годы при отсутствии значимых внешних либо внутренних непредсказуемых возмущающих воздействий.

До 2013 года наблюдался четко выраженный рост поголовья свиней в Республике Беларусь. Резкий спад численности свиней, имевший место в 2014 году, был связан с обострением эпидемиологической ситуации с африканской чумой свиней и массовыми рекомендациями об убое животных [13, 14]. Далее численность поголовья свиней стабилизировалась. Отсутствие стремления показателя к значениям предыдущего периода может быть объяснено частичным замещением свинины мясом других сельскохозяйственных животных и птицы, а также сокращением доли частного предпринимательства в данной отрасли и доли экспорта. При рассмотрении периода с 2014 года можно говорить о некоторой стабилизации численности свиней, несмотря на имеющиеся колебания.

Рост поголовья птицы в хозяйствах Республики Беларусь наблюдается с 2008 года. Производство мяса птицы более рентабельно по сравнению с производством

говядины или свинины в связи с меньшей себестоимостью и с более коротким технологическим циклом, что отражается на стоимости продукции, поступающей в продажу. По этой причине даже в периоды кризисов спрос на мясо птицы не падает. За последние пять лет рост численности птицы несколько замедлился, но по-прежнему имеет место. Предполагается, что указанная тенденция сохранится.

Для определения численности сельскохозяйственных животных, а также их процентного распределения по хозяйствам различных типов в ближайшие годы были использованы методы прогнозирования: метод, основанный на построении модели тренда – регрессионной модели, и метод прогнозирования на основе средней величины.

При выборе метода прогнозирования поголовья животных, численность которых в последние годы имела колебания, но оставалась близка к среднему в эти годы значению, был применен метод средней величины (табл. 1). Регрессионная модель строилась для тех видов, где в предыдущие годы наблюдался рост или снижение численности (табл. 2).

Также регрессионная модель была построена для прогнозирования доли животных в хозяйствах сельскохозяйственных организаций (табл. 3).

Таблица 1. Прогноз поголовья сельскохозяйственных животных, содержащихся в хозяйствах всех типов в Республике Беларусь (КРС, свиньи, овцы и козы)

Вид животного	Поголовье, тыс. голов в год	
	2020 г., факт	2021-2030 гг.
Коровы	1495	1509
Телята	2800	2824
Свиньи	2882	3060
Овцы, козы	149	153

Таблица 2. Прогноз поголовья сельскохозяйственных животных, содержащихся в хозяйствах всех типов в Республике Беларусь (лошади, птица)

Вид животного	Поголовье										
	2020 факт	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Лошади, тыс. голов	38	33	29	26	22	20	17	15	13	12	10
Птица, млн голов	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63

Таблица 3. Прогноз доли сельскохозяйственных животных, содержащихся в хозяйствах сельскохозяйственных организаций в Республике Беларусь

Вид животного	Доля в хозяйствах сельскохозяйственных организаций, %										
	2020 факт	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Коровы	97,8	97,9	98,0	98,0	98,1	98,2	98,2	98,3	98,3	98,4	98,4
Телята	95,9	95,9	96,1	96,3	96,4	96,6	96,7	96,8	97,0	97,1	97,2
Свиньи	88,3	89,2	89,8	90,5	91,2	91,8	92,5	93,2	93,8	94,5	95,2
Овцы, козы	8,1	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,0	10,3	10,5	10,8	11,1
Лошади	40,0	40,2	40,4	40,6	40,8	41,0	41,2	41,4	41,6	41,9	42,1
Птица	90,9	91,6	92,1	92,7	93,2	93,8	94,3	94,8	95,4	95,9	96,5

Таблица 4. Потенциал получения биогаза из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных с учетом их фактического поголовья на начало 2020 года

Вид животного	Выход биогаза на голову	Выход биогаза, всего		Теоретический потенциал		Технически возможный потенциал	
	м³/год	млн м³/год	тыс. т у.т./год	млн м³/год	тыс. т у.т./год	млн м³/год	тыс. т у.т./год
Коровы	450 – 547,5	673 – 819	531,5 – 646,6	538 – 655	425,2 – 517,3	361 – 440	285,4 – 347,3
Телята, телки, бычки	315 – 330	882 – 924	696,8 – 730,0	706 – 739	557,4 – 584,0	483 – 506	381,6 – 399,8
Свиньи	73 – 109,5	210 – 316	166,2 – 249,3	168 – 252	133,0 – 199,4	119 – 178	93,9 – 140,9
Овцы, козы	120 – 150	18 – 22	14,1 – 17,7	14,3 – 17,9	11,3 – 14,1	0,8 – 1,0	0,6 – 0,8
Лошади	300 – 350	11 – 13	9,0 – 10,5	9,1 – 10,6	7,2 – 8,4	2,6 – 3,0	2,0 – 2,4
Птица	5,475 – 6,210	290 – 329	229,2 – 260,0	232– 263	183,4 – 208,0	211 – 239	166,7 – 189,1
Сумма:	–	2235 – 2272	1765,7 – 1795,2	1788 – 1818	1412,6 – 1436,1	1266 – 1279	1000,2 – 1010,4

Определение и прогноз потенциала биогаза

Основываясь на данных по объему производства биогаза от одного животного или птицы, предложенных в работах [9, 15, 16], произведем оценку теоретического и технически возможного потенциала [17] биогаза в Республике Беларусь, получаемого из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных и птицы.

При расчетах учтем ряд особенностей.

1. Как известно, для работы биогазовой установке требуется некоторое количество тепловой энергии для подогрева сырья и поддержания заданной температуры в метантенках. По рекомендациям, изложенным в [9], на собственные нужды биогазовой установки расходуется одна пятая часть производимой в ней энергии.

2. Несмотря на наличие биогазовых установок малой мощности, рассчитан-

ных на переработку отходов жизнедеятельности нескольких единиц сельскохозяйственных животных [18, 19], наиболее стабильна и эффективна работа установок на комплексах, где содержится большое количество животных. В связи с этим при определении теоретического потенциала получения биогаза в стране учтено все поголовье сельскохозяйственных животных, для расчета технически возможного потенциала – только часть, содержащаяся в хозяйствах сельскохозяйственных организаций.

3. Системы удаления навоза не всегда позволяют использовать весь объем образовавшихся продуктов жизнедеятельности для производства биогаза. В связи с чем возникает необходимость введения корректирующих коэффициентов:

$k_1 = 0,7$ – коэффициент, учитывающий невозможность сбора и использования навоза

КРС для получения биогаза (аналогичный коэффициент будет применен для лошадей, овец и коз);

$k_2 = 0,8$ – коэффициент, учитывающий особенности использования системы смыва водой навоза свиней;

$k_3 = 1,0$ – коэффициент, учитывающий особенности использования системы сбора навоза птицы [9].

Для расчета теоретического потенциала получения биогаза предлагается воспользоваться формулой, полученной на основе исследования [9]:

$$P_{\text{теор}} = (1 - 0,2) \cdot N \cdot g$$

где 0,2 – доля энергии на собственные нужды;

N – поголовье одного вида животного;

g – расчетный выход биогаза из отходов от одной единицы животного за год.

Технически возможный потенциал требует учета особенностей удаления отходов жизнедеятельности животных и доли животных, содержащихся в хозяйствах сельскохозяйственных организаций, и определяется по формуле:

$$P_{\text{техн}} = (P_{\text{теор}} \cdot k_x \cdot \varphi) / 100$$

где k_x – коэффициент, учитывающий удаление отходов, характерное для вида животного x ;

φ – доля животных, содержащихся в хозяйствах сельскохозяйственных организаций.

Потенциал получения биогаза из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных с учетом их фактического поголовья на начало 2020 года представлен в табл. 4.

На рис. 2 изображен прогноз теоретического и технически возможного потенциала получения биогаза из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных на период 2021–2030 гг.

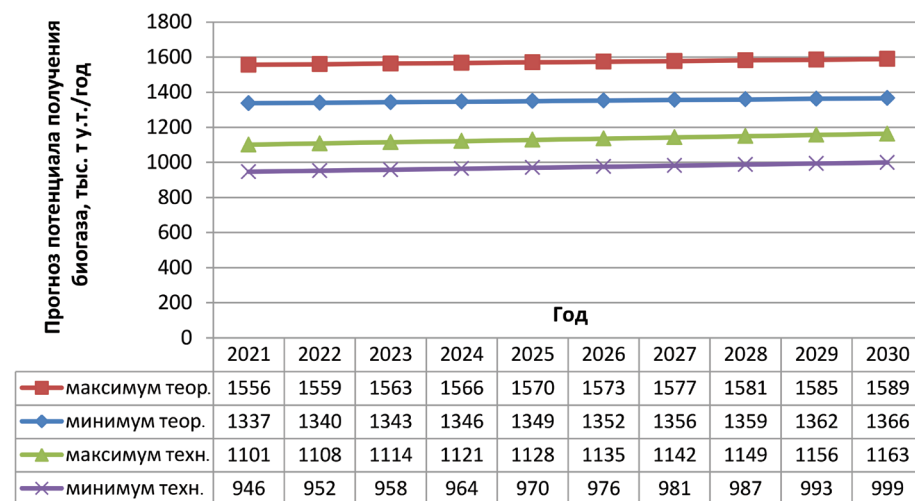


Рис. 2. Прогноз теоретического и технически возможного потенциала получения биогаза из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных

Заключение

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

– Теоретический потенциал на начало 2020 года составляет 1668–1938 млн м³/год, что эквивалентно 1318–1531 тыс. т у.т./год и позволяет заместить 1146–1332 млн м³ природного газа ежегодно; технически возможный потенциал оценивается в 1178–1367 млн м³/год, что эквивалентно 930–1080 тыс. т у.т./год и позволяет ежегодно заместить 809–939 млн м³ природного газа.

– К 2030 году теоретический потенциал получения биогаза вырастет незначительно: до 1729–2011 млн м³/год, что эквивалентно 1366–1589 тыс. т у.т./год, или замещению 1188–1382 млн м³ природного газа; технически возможный потенциал увеличится до 1265–1472 млн м³/год, что равно замещению 999–1163 тыс. т у.т./год, или 869–1011 млн м³ природного газа.

– Полное освоение технически возможного потенциала биогаза из продуктов жизнедеятельности животных позволит заместить 3–4% потребляемых в Республике Беларусь топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), или 5–6% ТЭР, расходуемых в стране на получение тепловой и электрической энергии.

– Кроме того, освоение потенциала получения биогаза повысит энергетическую безопасность страны, что численно может быть выражено в увеличении значений индикаторов блока «Энергетическая самостоятельность» № 1 «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР» и № 2 «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР», каждого на 3–4%, а также в снижении значения индикатора блока «Диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов» № 4 «Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР» к 2030 году также на 3–4%.

Литература

1. Bioenergy [Electronic resource]: International Renewable Energy Agency. – Mode of access: <https://www.irena.org/bioenergy>. – Date of access: 08.01.2021.
2. Data and statistics [Electronic resource]: International Energy Agency. – Mode of access: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons>. – Date of access: 06.12.2020.
3. Levelized Cost of Electricity. Renewable Energy Technologies [Electronic resource]: Fraunhofer Institute for Solar Energy System, 2018. – Mode of access: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf. – Date of access: 01.12.2020.

www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf. – Date of access: 01.12.2020.

4. Karellas S. Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste / S. Karellas, I. Boukis, G. Kontopoulos // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Volume 14. – Issue 4. – 2010. – Pages 1273–1282. ISSN 1364-0321 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.002>. – Date of access: 12.12.2020.

Полное освоение технически возможного потенциала биогаза из продуктов жизнедеятельности животных позволит заместить 3–4% потребляемых в Республике Беларусь топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), или 5–6% ТЭР, расходуемых в стране на получение тепловой и электрической энергии.

5. Biogas from fecal sludge at Kibera communities at Nairobi (Umande Trust, Kenya) [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/resource_recovery_from_waste-114-123.pdf. – Date of access: 01.02.2021.

6. Menind A. Boigas Plant Investment Analysis, Cost Benefit and Main Factors / A. Menind, J. Olt // Estonian University of Life Sciences, 2009. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/242547266_BIOGAS_PLANT_INVESTMENT_ANALYSIS_COST_BENEFIT_AND_MAIN_FACTORS. – Date of access: 06.12.2020.

7. Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 09.08.2010 № 1180. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/law/postanovleniya-sovetaministrov-respubliki-belarus/>. – Дата доступа: 27.12.2020.

8. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг. [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 10.05.201 № 586. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/file663fb27db70962e8.pdf>. – Дата доступа: 30.12.2020.

9. Кундас С.П. Оценка потенциала производства биогаза в Республике Беларусь / С.П. Кундас, В.А. Пашинский, А.А. Бутько // Энергоэффективность: научно-практический журнал. – 2013. – №4. – С. 32–36.

10. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/3a9/3a9942589996c1bd248d5b05512fd7d7.pdf> 8.01.2021. – Дата доступа: 02.02.2021.

11. Потребительские расходы домашних хозяйств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/urovenzhizni-naseleniya/dokhody-i-potrebleniedomashnikh-khozyaystv/godovye-dannye/>. – Дата доступа: 10.02.2021.

12. Индексы потребительских цен на основные продовольственные товары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/tseny/potrebitelskietseny/godovye-dannye/>. – Дата доступа: 10.02.2021.

13. Из-за подозрений на новую вспышку африканской чумы частным подворьям Ветковского района рекомендовано забить свиней [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://people.onliner.by/2014/07/12/pigs>. – Дата доступа: 10.01.2021.

14. Африканская чума свиней в Беларуси летом 2014 года. Есть или нет? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doktora.by/novosti-mediciny/afrikanskaya-chuma-sviney-v-belarusi-letom-2014-goda-est-ili-net>. – Дата доступа: 10.01.2021.

15. Строительство биогазовых установок. Краткое руководство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fermer.ru/files/v2/advice/19087/broshuraa5rus.pdf>. – Дата доступа: 08.01.2021.

16. Кильчукова О.Х. Совершенствование конструкции и режимов работы биогазовой установки для малых сельскохозяйственных предприятий: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.Х. Кильчукова. – Нальчик, 2020. – 142 л.

17. Михалевич А.А. Энергетическая безопасность и возобновляемая энергетика / А.А. Михалевич // Возобновляемые источники энергии: потенциал, достижения, перспективы: материалы Международного семинара экспертов, Минск, 3–4 декабря 2013 г. / Национальная академия наук Беларуси; под ред. академика Михалевича А.А. – Минск, 2013. – С. 7–24.

18. Биогазовая станция малого и среднего размера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belpg.com/oborudovanie/energoberegayushchie-tehnologii/biogazovye-stancii/malyh-i-srednih-razmerov>. – Дата доступа: 18.01.2021.

19. Биореакторы БУГ для переработки отходов в биогаз и удобрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bmpa.ru/reaktory-dlya-pererabotki-biomassy>. – Дата доступа: 18.01.2021. ■

Статья поступила в редакцию 7.04.2021.



А.В. Новик,
к.ф.-м.н., доцент, кафедра ЮНЕСКО
«Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» БНТУ

ВЛИЯНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ НА СПЕКТР ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТО-ЭДС В СИЛЬНОДИСЛОКАЦИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

УДК 621.315.592

Аннотация

В статье описываются результаты исследования электрической и рекомбинационной активности дислокаций в монокристаллическом кремнии, используемом для производства фотоэлектрических преобразователей. Исследования спектральных характеристик проводились в системе полупроводник–электролит.

Обнаружено, что дислокации в кремнии обладают фотоэлектрической активностью, проявляющейся как полоса гашения сигнала фото-ЭДС в области спектра 0.6–1.0 мкм с максимумом гашения в области 0.88–0.95 мкм. Спектральное положение и интенсивность полосы гашения определяются дислокационной структурой.

Annotation

Influence of dislocations on spectrum of surface photo-EMF in strongly dislocation silicon crystals

Electric and recombination activity of dislocations and other structural defects in low level perfective silicon, used in creating photoelectrical solar elements was investigated with the surface photo-EMF.

It was found, that dislocations in silicon had photoelectrical activity. It observed, as a signal EMF decrease region in spectrum area from 0.6 to 1.0 mkm, with decrease maximum in the area from 0.88 to 0.95 mkm. Recombination activity of dislocations nature centers, observed in spectrum dependence of EMF, determined by defects structure.

Введение

Преобразование энергии солнечного излучения в электрическую энергию приобретает все большую актуальность и востребованность. Для производства фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), служащих элементарной ячейкой при создании солнечных батарей, современная наука предлагает широкий спектр самых различных материалов и технологических решений. Тем не менее, не следует забывать, что производство солнечных батарей и, соответственно, ФЭП становится целесообразным и экономически обоснованным при выполнении следующих основных требований:

- максимально возможный КПД,
- технологическая простота изготовления,
- доступность и технологичность применяемых сырья и материалов.

Это даст возможность достижения минимальной себестоимости 1 Вт электроэнергии.

Монокристаллический кремний по состоянию на сегодняшний день служит исходным сырьем для 90% общего объема производимых в мире ФЭП. Производимые монокристаллические подложки в зависимости от степени совершенства применяются в различных областях микроэлектронного производства. Производство ФЭП позволя-

ет использовать пластины моно-Si с более высокой концентрацией кристаллических дефектов (и, соответственно, более дешевые). Тем не менее, влияние различных типов кристаллических дефектов и их концентрации в исходном материале на финальные физические параметры готовых изделий, а также методы анализа степени совершенства исходных материалов представляют несомненный интерес.

Исследования полупроводниковых материалов с использованием поверхностной электродвижущей силы (ЭДС) позволяют определять значение целого ряда параметров, таких как время жизни носителей заряда, диффузионная длина, распределение поверхностных потенциалов, глубина залегания p-n перехода и т.д.

Для проведения исследований нами была использована методика измерения спектра фото-ЭДС в системе полупроводник–электролит. Выбор методики не случаен. Методика предполагает следующие характерные моменты:

1. Возбуждение приповерхностной области полупроводника.
2. Использование отклика образца на возбуждение световым лучом для получения данных об исследуемом материале.

В то же время формирование поверхностной ЭДС в полупроводниковых кристаллах (в частности, моно-Si) является тем

процессом, на котором основана работа фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии (ФЭП). Влияние структурных дефектов как на сигнал поверхностной фото-ЭДС (ПФЭДС), так и на численные характеристики связанных с ним других фотоэлектрических величин определяется двояко. Во-первых, дефекты влияют на высоту поверхностного энергетического барьера, на которой происходит разделение носителей заряда, генерированного световым или электронным лучом. Во-вторых, чисто рекомбинационные характеристики объема полупроводника зависят от концентрации и типа дефектов. Оба эти фактора, как следует из базовых выражений, описывающих фото-ЭДС, влияют на величину регистрируемого во внешней электрической цепи сигнала.

Анализ спектральных зависимостей поверхностной фото-ЭДС, оценка рекомбинационной активности дислокаций позволяют рассчитать значения длины свободного пробега носителей заряда L_d , которая является параметром, определяющим КПД фотопреобразователей. Это дает возможность делать выводы о целесообразности использования материалов разной степени совершенства для производства солнечных элементов.

Выяснению влияния именно дислокаций на спектры ПФЭДС посвящена эта работа.

Основная часть

Исследовались кристаллы монокристаллического кремния с удельным сопротивлением p-Si с $\rho=1$ кОм·см, p-Si с $\rho=1-5$ Ом·см, p-Si с $\rho=10$ Ом·см, n-Si с $\rho=55-88$ кОм·см. Дислокации вводились в исследуемые образцы методом четырехопорного изгиба. Образцы для деформации помещались между двумя опорами из нержавеющей стали, затем нагревались в трубчатой печи сопротивления до температуры 730–740°C. По достижении необходимой температуры внутри печи на образец подавалась механическая нагрузка. Процесс деформации занимал 2–3 минуты, после чего образцы вынимались из печи и быстро охлаждались на воздухе.

На отдельных образцах плотность дислокаций N_d оценивалась по ямкам селективного травления, в остальных – по степени деформации (стреле и радиусу прогиба) с учетом того, что плотность дислокаций при пластической деформации для кремния и германия может быть рассчитана по формуле 1 [1]:

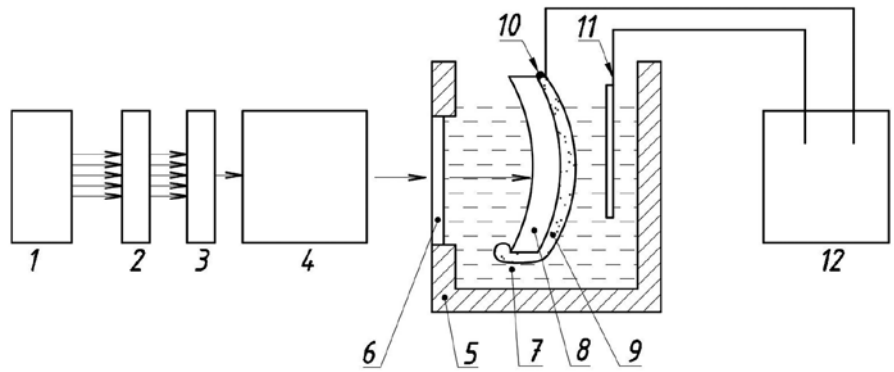
$$N_d = 1 / (bR \cos \varphi), \quad (1)$$

где b – вектор Бюргерса, R – радиус кривизны образца в результате пластической деформации, φ – угол между плоскостью скольжения и нейтральной плоскостью деформированного образца. В ряде случаев выполнялось оценка плотности дислокаций N_d по спектрам фотолюминесценции.

Блок-схема экспериментальной установки измерения спектров поверхностной фото-ЭДС в системе полупроводник–электролит приведена на рисунке 1.

Измерения проводились по следующей схеме.

Световое излучение галогеновой лампы проходит через фокусирующую систему линз, механический модулятор с частотой 180 Гц, монохроматор, прозрачное окно измерительной ячейки, слой электролита и попадает на поверхность полупроводникового образца. Кванты света поглощаются в приповерхностном слое образца глубиной порядка $1/\alpha$ (где α – коэффициент поглощения кремния). В освещаемой области происходит генерация неравновесных носителей заряда, которые диффундируют в этом образце на глубину порядка диффузионной длины L_d . Вследствие пространственного разделения неравновесных носителей заряда происходит образование разности потенциалов между поверхностью полупроводников образца и его объемом. Сигнал поверхностной фото-ЭДС усиливается и регистрируется селективным вольтметром. Измерения проводились при значениях ширины входной и выходной щели монохроматора, не превышающих 0.2 мм, в качестве электролита использовался 5-процентный раствор хлористого аммония. Прозрачный электролит выполняет роль однородного проводящего контакта к фронтальной поверхности



1 – галогеновая лампа, 2 – модулятор, 3 – система фокусирующих линз, 4 – монохроматор, 5 – фотоэлектрохимическая ячейка, 6 – прозрачное окно, 7 – электролит, 8 – образец, 9 – химический стойкий лак, 10 – контакт к образцу, 11 – электрод сравнения, 12 – селективный вольтметр.

Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки измерения спектров поверхностной фото-ЭДС в системе полупроводник–электролит

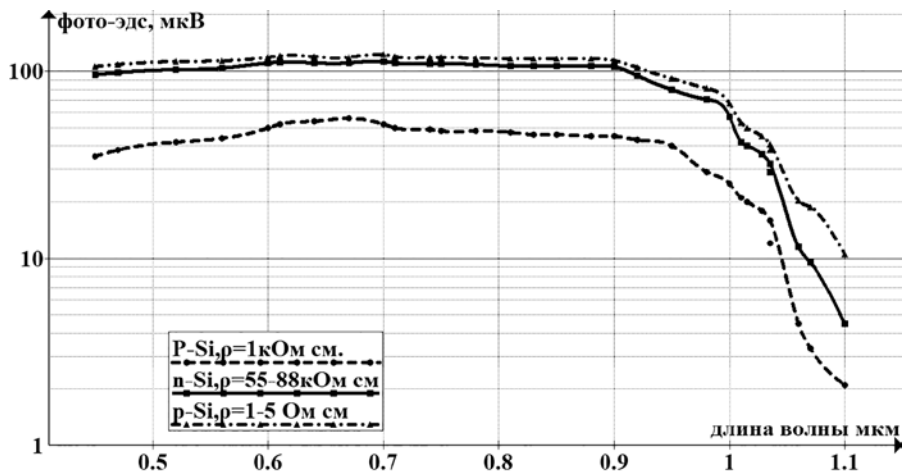


Рис. 2. Спектры ПФЭДС недеформированных кристаллов монокристаллического кремния

исследуемого образца. Экспериментальные спектры поверхностной фото-ЭДС системы полупроводник–электролит приводились к постоянному потоку квантов, поглощаемых во всем диапазоне длин волн.

Спектральное распределение ЭДС недеформированных образцов кремния подробно исследовано [2]. Наши эксперименты подтвердили соответствие спектров тем, что были получены в этой работе. На рисунке 2 приведены спектры недеформированных кристаллов кремния p-типа с удельным сопротивлением $\rho=1$ кОм·см и $\rho=1-5$ Ом·см, а также n-типа с $\rho=55-88$ кОм·см.

Здесь отметим, что спектр ЭДС для кремния в контакте с электролитом хорошо описывается аналитически и содержит три характерных участка:

- длинноволновой участок увеличения ЭДС с $\lambda = 1.1-0.88$ мкм,
- участок насыщения с $\lambda = 0.88-0.6$ мкм,
- участок коротковолнового спада ЭДС с $\lambda = 0.60-0.45$ мкм.

Спектральное распределение ПФЭДС для образцов, содержащих повышенную плотность дислокаций, отличается от такового для бездислокационных (малодислокационных) образцов. На рисунке 3 приведены спектры для недеформированных и деформированных кристаллов кремния r-типа, с удельным сопротивлением 10 Ом·см. Для деформированного образца спектры измерялись в центральной части ($N_d \sim 10^7$ см⁻²) и периферийной части ($N_d \sim 10^2$ см⁻²) кристалла (температура деформации составляла 750°C). Как показывает кривая 2 на рисунке 3, при плотности дислокаций $N_d \sim 10^2$ см⁻² спектр ЭДС в основном совпадает со спектром бездислокационного материала. В нем наблюдаются те же три области: длинноволновой подъем, соответствующий началу межзонных переходов и уменьшению рекомбинационных потерь по мере приближения величины α^{-1} к L_d ; область слабого изменения $U = f(\lambda)$ при обеспечении почти полного разделения и сбора

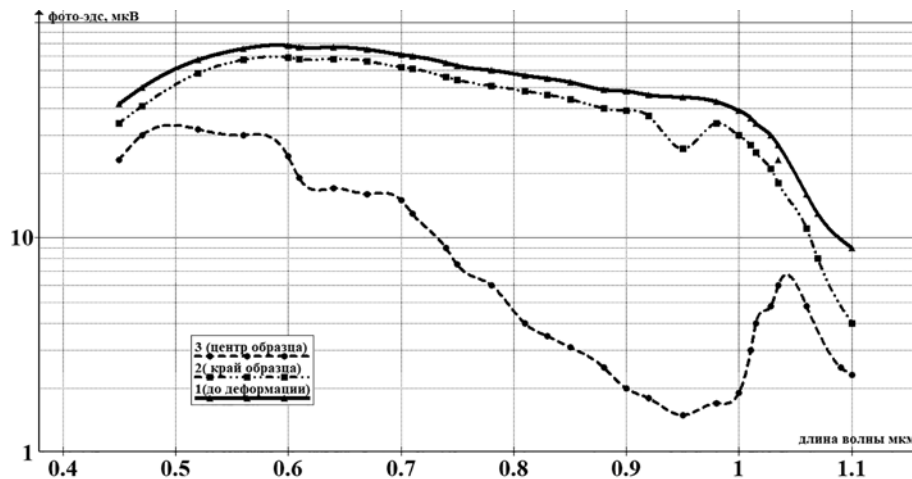


Рис. 3. Спектры фото-ЭДС недеформированного и деформированного монокристаллического кремния р-типа, $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$

генерированных носителей на барьере у поверхности; область поверхностного гашения ЭДС. Незначительные отличия заключаются в ступеньке гашения сигнала в области 1.0 мкм и сохранении того пониженного значения до $\lambda = 0.6$ мкм. Степень гашения в относительных единицах составляет около 30%.

При переводе области фотовозбуждения в центральную часть образца, где плотность дислокаций составляет до 10^7 см^{-2} (кривая 3), спектр изменяется весьма существенно. При сохранении начального длинноволнового участка и незначительного спада при $\lambda = 0.5$ мкм, в основной части от 1.0 до 0.5 мкм характер спада определяется областью гашения, развившейся, как видно, в полосу с максимумом (на спектре минимум значение U) в области 0.95 мкм. Степень гашения сигнала в области 0.95 мкм достигает целого порядка.

Для интерпретации полученного результата необходимо иметь в виду, что отличия в характеристиках недеформированных и деформированных кристаллов могут быть обусловлены следующими причинами. Во-первых, различными неконтролируемыми остаточными структурными дефектами или примесями, поскольку различные образцы могли быть получены из различных областей неоднородного слитка, а реальные кристаллы кремния весьма неоднородны. Во-вторых, при термической обработке монокристаллов, во время введения дислокаций возможно формирование активных в электрическом и рекомбинационном плане термических дефектов. В области температур, при которых производилась пластическая деформация, возможно формирования низкотемпературных доноров, содержащих кислород.

Следует принимать во внимание и то, что образцы, спектры которых приведены на рисунке 3, выращены по способу Чохральского и имеют концентрацию кис-

лорода до 10^{17} см^{-3} . Следовательно, в них возможно формирование термических дефектов с участием кислорода. Однако, такое формирование известных по литературе термических дефектов должно было бы вызвать изменение характеристик во всем объеме кристалла, как в центральной, так и в периферийной части образцов. На опыте же основные изменения наблюдаются только в области с резко повышенной плотностью дислокаций.

Необходимо учитывать, что анализ спектров образцов с градиентом (вдоль одного из направлений) плотности дислокаций позволяет исключить неопределенность не только в технической предыстории образцов, но и в состоянии обработки их поверхности.

Таким образом, исследуя распределение параметров в единичном образце в направлении, характеризующемся градиентом плотности дислокаций, можно оценивать изменения параметров как результат действия именно дислокаций. Аналогичный подход был использован в работе [3] для обнаружения и идентификации центров из-

лучательной рекомбинации дислокационной природы в кремнии. С этой же точки зрения следует, по всей видимости, рассматривать и обсуждаемые и полученные нами результаты. Это позволяет сделать вывод, что в спектрах поверхностной фото-ЭДС в системе кремний–электролит активность центров дислокационной природы может проявляться как широкая полоса гашения сигнала фото-ЭДС в области значений λ от 0.5 до 1 мкм (1.24–2.48 эВ). На рисунке 4 приведена спектральная форма полосы гашения сигнала ПФЭДС в области с $N_d \sim 10^7 \text{ см}^{-2}$ для кремния р-типа и с удельным сопротивлением $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Такой спектр получен путем нормировки спектра для сильнодислокационного и малодислокационного образцов на спектр бездислокационного.

Четко видно, что полоса гашения представляет собой монотонную линию колоколообразной формы, асимметричную, с минимумом вблизи 0.95 мкм ($h\nu = 1.3 \text{ эВ}$). Следует отметить, что в литературе имеется достаточно много сведений о проявлении в кремнии дислокаций (или центров дислокационной природы) в оптических, электрических высокочастотных процессах. Однако почти все, что касается энергетики дислокационных центров, относится к области электронных состояний, расположенных внутри запрещенной зоны и проявляющихся в области энергий $E \leq 1.1 \text{ эВ}$. Энергетический спектр проявляющихся уровней дислокационных состояний в кремнии наиболее полное отражение нашел в работе [4] и представлен на рисунке 5. Что касается области энергий, больших, чем ширина запрещенной зоны E_g , то, по всей вероятности, единственным обнаружением активных дислокаций в области близких энергий являются результаты по низкотемпературному электронному парамагнитному резонансу с оптической подсветкой (фото-ЭПР) [5]. В этой работе при $T = 5 \text{ К}$ обнаружена активность дислокационных центров в области 1.2–1.5 эВ ($\lambda = 1.03\text{--}0.83 \text{ мкм}$), отнесенная авторами работы

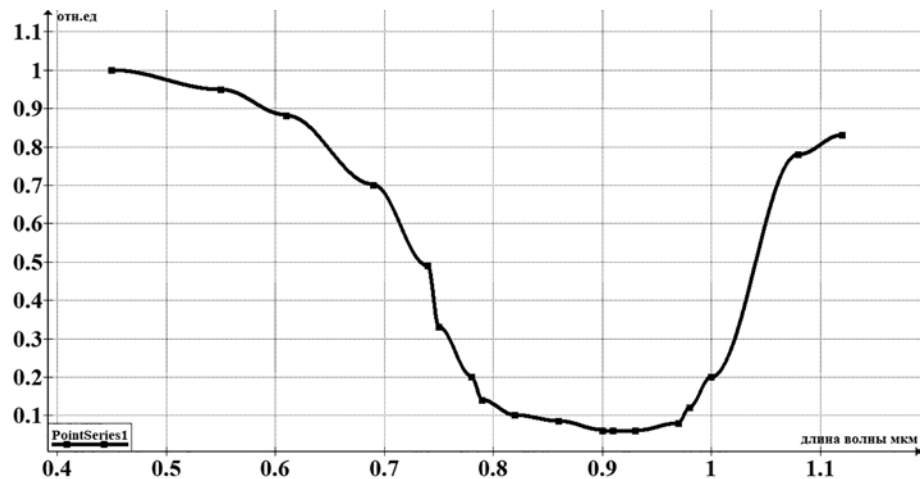


Рис. 4. Спектральная форма полосы дислокационного гашения сигнала ПФЭДС

к Si-K1 и Si-K2 центрам. Спектральное распределение этой активности проявляется аналогично тому, как показано на рисунке 3 в виде единой полосы с максимумом 0.99 мкм (1.25 эВ). Эта полоса, так же как и в случае фото-ЭДС, несимметрична и уширена в область высоких энергий.

Интерпретация фотоактивных центров, проявляющихся при $h\nu \geq E_g$, является сложной задачей. Задача усложняется существованием у поверхности кремния, в контакте с электролитом, поверхностного изгиба зон, способного изменить энергетику кристалла в тонком поверхностном слое. При энергиях квантов света $h\nu > E_g$ возбуждение осуществляется также в слое определенной толщины, прилегающем к поверхности. Однако, в области максимума полосы гашения при $\lambda = 0.95$ мкм глубина слоя возбуждения в кремнии составляет около 50 мкм ($\alpha = 200 \text{ см}^{-1}$) [6]. Эта величина намного превышает толщину слоя, в котором обеспечивается искажение энергетических зон, т.е. длину экранирования Дебая, составляющую для кремния с $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ величину порядка 10 мкм. В то же время, в сильно дислокационной области возможно изменение величины диффузионной длины L_d вследствие проявления активности дислокаций и их компенсирующего действия, вплоть до возможного изменения типа проводимости.

При этом необходимо учитывать, что дислокации могут вызывать как акцепторное, так и донорное воздействие. Однако относительно числа вводимых уровней и их энергетического положения следует сказать, что до настоящего времени в литературе в этом вопросе имеется неоднозначность, а зачастую даже противоречивость. Это может быть связано с различным исходным структурным и примесным совершенством образцов до деформации, условиями введения дислокаций, а также различными методами выявления активности дислокаций.

Таким образом, несмотря на выполнение соотношения $\alpha^{-1} > L_d$ при $\lambda = 0.9-1$ мкм, нельзя исключить роли поверхностного изгиба зон в области формирования фотоотклика. Это может привести к фоточувствительности (в области $h\nu \geq E_g$) с учетом объемных и поверхностных состояний. С другой стороны, всякая стабильность спектрального положения экситонных линий, наблюдаемых в спектрах низкотемпературной фотолюминесценции по мере роста N_d [7], в условиях такого же по глубине характера возбуждения свидетельствует о слабых изменениях энергетической диаграммы кремниевой матрицы в условиях возбуждения.

Наблюдение дислокационной активности в спектрах фото-ЭПР при

$E_g < h\nu$ [8, 9] также свидетельствует о том, что вряд ли следует связывать наблюдаемую полосу активности дислокации с эффектами на поверхности или на границе раздела по-

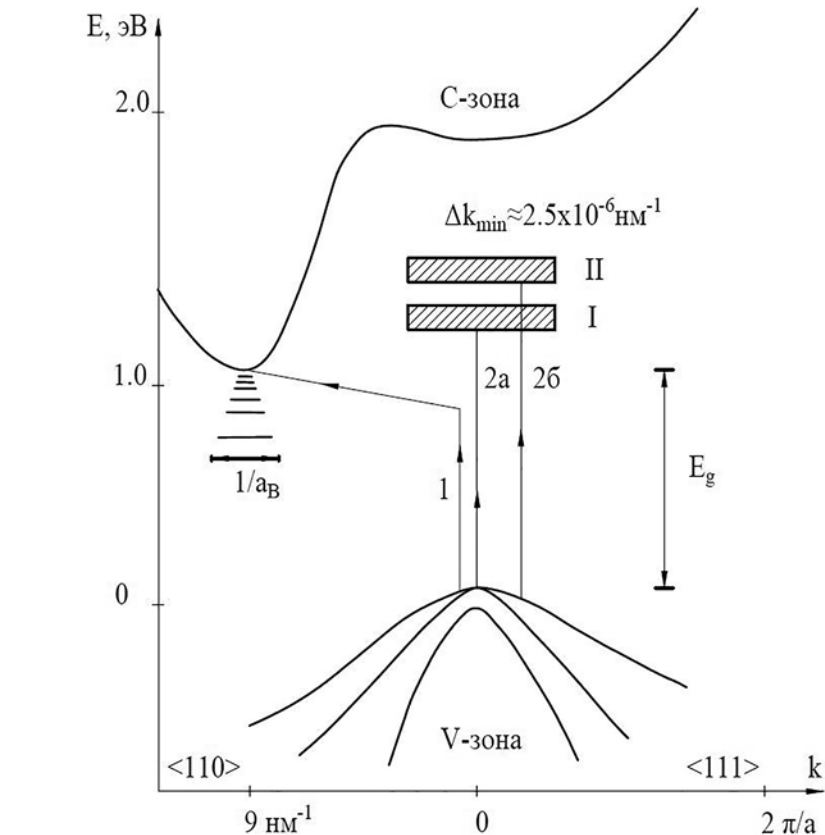


Рис. 5. Зонная диаграмма кремния. Схема энергетических уровней дислокаций и оптических переходов: 1 – межзонные переходы, 2a и 2б – переходы на дислокационные уровни I и II, соответствующие $\lambda_{\text{в03б}} = 0.95$ мкм ($h\nu = 1.305$ эВ) и $\lambda_{\text{в03б}} = 0.88$ мкм ($h\nu = 1.409$ эВ) соответственно

лупроводник–электролит. Сопоставляя полученные нами результаты и результаты по фото-ЭПР [5], можно сделать заключение, что эта полоса является следствием проявления активности дислокационных состояний с энергией активизации больше E_g . Существование таких состояний и обеспечение высокой их активности на фоне межзонных переходов может быть связано с непрямой, неперпендикулярной структурой энергетических зон в кремнии. Для этого необходимо предположить, что в пространстве E-k (рис. 5) существуют дислокационные локальные состояния, расположенные по вертикали, например над потолком валентной зоны при $k = 0$ на расстоянии 1,3–1,4 эВ.

Ввиду сильной пространственной локализации такие состояния должны характеризоваться значительной неопределенностью по импульсу, что отражено на рисунке в виде разной плотности штриховки, соответствующей, в качественном смысле, плотности состояний с различным импульсом (точнее, квазиимпульсом). Это, в определенной степени, подтверждает возможность существования коротковолнового уширения полосы генерации. Оптические переходы на такие состояния носят прямой характер, и поэтому их вероятность повышается по сравнению с неперпендикулярными переходами.

Если оценивать соотношение между вкладом в сигнал ЭДС собственных межзонных переходов и переходов, связанных с ионизацией дислокаций, то следует отметить следующее. При плотности дислокаций порядка $N_d \sim 10^7-10^8 \text{ см}^{-2}$ объемное число оборванных связей составляет $10^{15}-10^{16} \text{ см}^{-3}$. Возможный коэффициент поглощения света на примесный уровень для такой плотности состояний должен составлять величину порядка $10^{-2}-10^{-1} \text{ см}^{-1}$ при типичном $\sigma = 10^{-17} \text{ см}^2$, характеризующем сечение взаимодействия светового кванта с валентным электроном, при чисто оптических прямых переходах в области длины $\lambda = 0.8-0.9$ мкм, $\alpha = 5 \times 10^2-10^3 \text{ см}^{-1}$ для межзонных переходов. Отсюда казалось бы невозможно обеспечить сопоставимую активность межзонных переходов и переходов на локальный уровень. Однако это касается только оптического процесса. В фотоэлектрическом процессе, в котором формируется фото-ЭДС, необходимо еще учитывать рекомбинационные потери. Они, в самом общем смысле, заложены в коэффициенте U_0 выражения для величины ЭДС (2) [2, 6].

$$U = U_0 \frac{\alpha L_d}{1 + \alpha L_d}, \quad (2)$$

где U – величина сигнала фото-ЭДС, U_0 – константа, включающая в себя приведенную к постоянному уровню интенсивность воз-

буждающего света, характеристики поверхностного барьера и скорость поверхностной рекомбинации, α – коэффициент поглощения кремния, L_d – диффузионная длина пробега носителей заряда.

Если за счет введения дефектов в объеме снижается время жизни носителей заряда, то в соответствующее число раз падает и величина U_0 . А если при этом эти же дефекты отвечают за фотоактивность некоторого процесса, то его интенсивность не снижается, а растет пропорционально числу (плотности) этих дефектов. В соответствии с научными данными для кремния средней степени легирования деградация времени жизни носителей заряда при $N_d \sim 10^7 - 10^8 \text{ см}^{-2}$ может достигать 3–4 порядков. Такая деградация величины времени жизни вполне способна обеспечить сопоставимую фотоактивность двух указанных типов переходов.

Необходимо обсудить также, что проявление фотоактивности центров дислокационной природы выражается в уменьшении абсолютного значения сигнала фото-ЭДС. В силу сказанного выше, вряд ли возможно прямое перераспределение светового потока за счет дислокационных центров и снижение темпа межзонной фотогенерации. Более вероятным представляется влияние фотоионизованных центров на процессы захвата генерированных при межзонном фотовозбуждении носителей до их подхода к поверхности и разделения на потенциальном барьере полупроводник–электролит. В этом плане освещение полупроводника светом в полосе фотоионизации активных дислокационных центров следует рассматривать как процесс, приводящий к повышению активности центров захвата носителей одного знака и исключения части свободных пар из процессов формирования ЭДС. В самом общем смысле такой механизм гашения схож с известным механизмом гашения фотопроводимости при внешней подсветке [2, 7]. Отличие заключается в том, что в случае уменьшения сигнала

вместо рассматриваемых классических схем двух независимых световых потоков, один из которых ведет к резонансному возбуждению центра, а второй – к межзонному процессу, следует рассматривать два канала возбуждения – вертикальный (резонансный, на центр дислокационной природы) и неvertикальный (межзонный нерезонансный) – под действием потока света с одной длиной волны.

Выводы

Установлено, что дислокации в кремнии обладают фотоэлектрической активностью, проявляющейся как полоса гашения сигнала фото-ЭДС в области спектра 0.6–1.0 мкм с максимумом гашения сигнала в области длины волны возбуждающего света 0.88–0.95 мкм.

Показано, что в дислокационном кремнии, в центре зоны Бриллюэна в запрещенной зоне, существует уровень с энергией активации больше E_g , захват носителей заряда на который вызывает эффект гашения сигнала фото-ЭДС в области энергий возбуждающих фотонов 1.2–2 эВ. Энергетическое положение уровня дислокации в запрещенной зоне (на 1.3–1.4 эВ над потолком V-зоны) определяется дислокационной структурой.

Степень проявления фотоактивности дислокационных центров в области $h\nu > E_g$ не постоянна при изменении параметров образцов. Для отдельных типов образцов с повышенной Nd эта полоса не наблюдалась вообще или проявлялась слабо. К таким образцам относятся сильно легированные кристаллы кремния p-типа, а также высокоомные, с $\rho \geq 1 \text{ кОм}\cdot\text{см}$. Для выяснения причин этого необходимы более детальные исследования влияния исходных параметров материала, а может быть и условий введения дислокаций на энергетическую структуру дислокационных центров с привлечением методов ЭПР, фото-ЭДС, люминесценции, электронной растровой микроскопии в режиме наведенного тока.

Литература

1. Матаре, Г. Электроника дефектов в полупроводниках: монография / Г. Матаре. – М.: Мир, 1974. – 464 с.
2. Спектральное распределение фото-ЭДС системы p-кремний–электролит / А.А. Патрин, В.А. Сулов, Фань Тхань Дау. – Изв. АН СССР, сер. физ.-мат. – М., 1988. – Деп. ВИНТИ, ред. Наук, деп. №1806-В.
3. Дроздов, Н.А. Люминесценция на дислокациях в кремнии / Н.А. Дроздов, А.А. Патрин, А.Р. Челябинский // Журнал прикладной спектроскопии. – 1977. – т. 27. – №2. – С. 248–252.
4. Кведер, В.В. Исследование дислокаций в кремнии методом фото-ЭПР / В.В. Кведер, Ю.А. Осипьян // ЖЭТФ. – 1980. – т. 80. – №3. – С. 1206.
5. Weber, E.R. Deep level defects in plastically deformed silicon / E.R. Weber, Alexander H // J.de Physique. – 1983. – v. 44-C4. – №9. – P. 319–328.
6. Nartovitz, E.S. Evaluation of silicon optical absorption data for use in minority-carrier diffusion length measurements by SPV method / E.S. Nartovitz, A.M. Goodman // J. Electrochem. Soc. – 1985. – v. 132. – №12. – P. 2992.
7. Шевченко, С.А. Дислокационная электропроводность в германии и кремнии: Диссертация докт. физ.-мат. наук: 01.04.07: защищена 27.05.2004 / Шевченко Светлана Антоновна. – М., 2004. – 228 с. – Библиогр.: с. 50–78.
8. Рейви, К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии: монография / К. Рейви. – М.: Мир, 1984. – 472 с.
9. Дроздов Н.А., Патрин А.А. Излучательная рекомбинация в дислокационном кремнии // Материалы V международной конференции «Свойства и структура дислокаций в полупроводниках». – Черноголовка, 1989. – С. 92–100. ■

Статья поступила
в редакцию 23.04.2021.

■ Энергосмесь

Расширена категория граждан, для которых предусмотрена скидка к тарифу на электроэнергию

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 апреля 2021 года № 185 внесены изменения в том числе в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12 июня 2014 года № 571 и Положение о порядке расчетов и внесения платы за жилищно-коммунальные услуги и платы за пользование жилыми поме-

щениями государственного жилищного фонда, а также возмещения расходов на электроэнергию.

В соответствии с вышеуказанными изменениями с 1 мая 2021 года расширена категория граждан, для которых предусмотрена скидка к тарифу на электрическую энергию (коэффициент 0,85 к тарифу на электрическую

энергию, установленному для жилых домов (квартир), не оборудованных в установленном порядке электрическими плитами).

Ранее указанная скидка применялась только для граждан, использующих электрическую энергию в многоквартирных жилых домах, оборудованных в установленном порядке системами цен-

трализованного теплоснабжения на цели отопления, газоснабжения на цели приготовления и не оборудованных в установленном порядке электрическими плитами, системами централизованного горячего водоснабжения и индивидуальными газовыми водонагревателями. ■

minenergo.gov.by

Внимание!

Изменение цен



**за любой объем
и формат размещения
в журнале «Энергоэффективность»**

Звоните!

+ 375 17 350 56 91



РЕСПУБЛИКАНСКИЙ КОНКУРС НА СОИСКАНИЕ ПРЕМИИ ЗА ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ

«ЛИДЕР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ-2021»

СОЗДАЕМ
**ЭНЕРГО
ЭФФЕКТИВНОЕ
БУДУЩЕЕ!**

**ДОКАЖИТЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
СВОЕГО ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОДУКТА.
ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К ЛИДЕРАМ!**

Приглашаем к участию

производственные, научно-исследовательские,
строительно-монтажные, инженеринговые
предприятия и организации Беларуси и зарубежья

Организаторы:



Департамент по энергоэффективности
Госстандарта Республики Беларусь



РУП «БЕЛТЭИ»



РНПУП «Институт энергетики
НАН Беларуси»



Центр поддержки предпринимательств
«Деловые медиа»

Номинации конкурса:

- «Энергоэффективный продукт года»
- «Энергоэффективная технология года»
- «Энергоэффективное здание года»
- «Технологии и проекты года на основе возобновляемых источников энергии»
- «Энергоэффективные бытовые приборы и оборудование»
- «Использование электрической энергии для повышения эффективности энергосистемы Беларуси»
- «Цифровая трансформация, автоматизация, «умные» технологии **new**
- «Лучшие публикации по энергоэффективности»

Оргкомитет конкурса:

+375 (17) 368-51-60/61,
+375 (29) 182-80-10, +375 (33) 344-80-10
info@energokonkurs.by

Положение о конкурсе
и условия участия:

www.energokonkurs.by