

ОХЛ – холодный источник; ОК – основной компрессор; РК – рекомпрессионный компрессор

Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете МЭИ за счет гранта Российского научного фонда № 25-79-30037, <https://rscf.ru/project/25-79-30037/>

### **Список использованных источников**

1. Wu P. et al. Supercritical CO<sub>2</sub> Brayton cycle design for small modular reactor with a thermodynamic analysis solver //Science and Technology of Nuclear Installations. – 2020. – Т. 2020. – №. 1. – С. 5945718.
2. Dostal V., Hejzlar P., Driscoll M. J. High-performance supercritical carbon dioxide cycle for next-generation nuclear reactors //Nuclear technology. – 2006. – Т. 154. – №. 3. – С. 265-282.
3. Ahn Y. et al. Review of supercritical CO<sub>2</sub> power cycle technology and current status of research and development //Nuclear engineering and technology. – 2015. – Т. 47. – №. 6. – С. 647-661.
4. Кулаков Г. В. и др. Обоснование конструкции и материалов компонентов ТВЭЛов для атомных станций мощностью не выше 10 МВт //Атомная энергия. – 2021. – Т. 130. – №. 6. – С. 310-313.

УДК 378.147:621.3

**А. В. Повный**

Гомельский государственный политехнический колледж  
Гомель, Беларусь

### **ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ КОЛЛЕДЖЕЙ: ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

***Аннотация.** Рассматривается инновационный подход к подготовке специалистов по специальности «Монтаж и эксплуатация электрооборудования» в области возобновляемых источников энергии. Описывается опыт внедрения в Гомельском политехническом колледже учебного предмета «Возобновляемые источники энергии», интегрирующего теорию с практикой в ресурсном центре.*

**A.V. Povny**

Gomel Polytechnic College

## RENEWABLE ENERGY IN COLLEGE EDUCATIONAL PROGRAMS: TRAINING SPECIALISTS IN SOLAR AND WIND POWER PLANT OPERATION

***Abstract.** An innovative approach to training specialists in the specialty "Installation and Operation of Electrical Equipment" in the field of renewable energy sources is examined. The experience of implementing the academic subject "Renewable Energy Sources" at Gomel Polytechnic College, integrating theory with practice in a resource center, is described.*

Развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — одна из наиболее актуальных стратегических задач современной энергетики, особенно в контексте глобальных вызовов климатических изменений и необходимости переходу к устойчивой энергетике. Республика Беларусь, следуя Национальной программе устойчивого развития и Климатическому плану до 2030 года, активно развивает направления возобновляемой энергетики. Однако недостаток квалифицированных специалистов, способных не только монтировать, но и профессионально эксплуатировать установки на основе солнечной и ветровой энергии, остаётся одним из ключевых препятствий.

Ранее в Гомельском государственном политехническом колледже тематика возобновляемых источников энергии включалась лишь фрагментарно — в виде отдельной темы (2–3 часа) в рамках предмета «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» для специальности 2–36 03 31–01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования». Такой объём был явно недостаточным для формирования профессиональных компетенций в области проектирования, монтажа, эксплуатации и диагностики систем на базе ВИЭ.

С 2024/2025 учебного года в Гомельском государственном политехническом колледже было принято стратегическое решение о создании самостоятельного учебного предмета «Возобновляемые источники энергии» в рамках часов, выделяемых учреждением образования на дополнительные предметы.

Программа предмета включает 52 учебных часа, распределённых следующим образом: 40 часов теоретических занятий и 12 часов практических работ и лабораторных занятий. Учебный материал организован по четырём ключевым разделам: введение в возобновляемые источники энергии; основы различных видов ВИЭ (солнечная, ветровая, гидро-, геотермальная энергетика, биомасса);

системы хранения энергии и интеграция ВИЭ в энергосистему; перспективы развития и карьерные возможности в этой сфере.

Раздел 1 предмета посвящен введению в проблематику возобновляемых источников энергии. Обучающиеся изучают исторический переход от ископаемых видов топлива к современным источникам, анализируют экологические и социальные последствия использования традиционной энергетики, рассматривают эволюцию систем производства и передачи электроэнергии. Особое внимание уделяется роли ВИЭ в современном энергетическом ландшафте и перспективам развития энергосистем будущего.

Раздел 2 представляет собой комплексное изучение основных технологий возобновляемой энергетики. Подраздел 2.1 посвящён солнечной энергетике. Обучающиеся изучают физические основы работы фотоэлектрических элементов, классификацию типов солнечных батарей, преимущества и недостатки каждого типа, применение солнечной энергии в различных секторах. Практическая работа предусматривает расчёт энергетической эффективности конкретной солнечной установки с учётом климатических условий региона, определение коэффициента эффективности панели и анализ влияния ориентации и угла наклона на производительность.

Подраздел 2.2 охватывает ветровую энергетику. Освещаются принципы работы ветровых турбин, их конструктивные особенности, типы, технологические особенности установки мощных ветрогенераторов. Рассматривается методология оценки ветропотенциала для различных регионов, экономические показатели ветровой энергетики, включая период окупаемости и стоимость электроэнергии из ветра. Практическая работа предполагает анализ реальных данных о средней скорости ветра в регионе Гомельской области, расчёт потенциальной выработки электроэнергии ветроэлектрической станцией и оценку экономической целесообразности её установки.

Подразделы 2.3 и 2.4 охватывают альтернативные виды ВИЭ: принципы работы гидроэлектростанций (в том числе малые ГЭС и гидроаккумулирующие станции), технологии использования биомассы и геотермальной энергии. Внимание уделяется экологическому воздействию каждого вида технологии, а также её применимости в конкретных географических и климатических условиях. Практические работы предусматривают расчёты мощности геотермальной установки для отопления здания и проектирование комбинированной системы энергоснабжения для удалённого объекта, использующей несколько видов ВИЭ одновременно.

Раздел 3 посвящён одной из наиболее актуальных проблем интеграции ВИЭ — системам накопления и хранения энергии. Обучающиеся изучают необходимость и функции систем хранения, рассматривают различные технологии: электрохимические накопители (батареи, суперконденсаторы), механические системы (гидравлические аккумуляторы, маховики), водородные системы. Анализируются преимущества и недостатки каждой технологии, применение в разных масштабах (от отдельного потребителя до энергосистемы).

Значительное внимание уделяется проблемам интеграции ВИЭ в существующие энергосистемы, методам управления нагрузкой, распределению энергии, роли интеллектуальных сетей в координации источников. Практические работы включают сравнение различных систем хранения энергии для конкретного объекта с учётом стоимости, срока окупаемости и характеристик, а также оптимизацию работы системы хранения для сглаживания пиковых нагрузок в энергосети.

Раздел 4 завершает курс обсуждением перспектив развития технологий ВИЭ, новых направлений исследований и карьерных возможностей в этой динамично развивающейся области экономики.

Ключевая инновация программы заключается в интеграции практической компоненты обучения с теоретическими занятиями через организацию сетевого обучения. В течение одной недели обучающиеся проходят обучение в ресурсном центре «Волма» (Дзержинский район). Это позволяет осуществить погружение в реальную производственную среду, где обучающиеся работают с действующими установками возобновляемой энергетики.

Практическая подготовка структурирована так, чтобы дополнять теоретическое изучение каждого раздела. Во время недельного пребывания в ресурсном центре обучающиеся имеют возможность: осмотреть и изучить конструкцию реальных солнечных модулей различных типов; провести измерения выходного напряжения и тока в зависимости от интенсивности солнечного излучения и угла ориентации панели; практически разобраться в конструкции и принципах работы ветровой турбины; ознакомиться с системами инвертирования и преобразования постоянного тока в переменный; изучить устройство и функционирование батарей и других систем накопления энергии; получить практические навыки по безопасной эксплуатации и обслуживанию оборудования.

Такой подход обеспечивает достижение важной цели среднего специального образования — формирования практических компетенций, необходимых современному специалисту. Обучающиеся не просто изучают теорию, но видят её воплощение в действующих

системах, понимают реальные технические, экономические и организационные сложности, с которыми встречаются инженеры и техники на практике.

По завершении изучения предмета обучающиеся должны знать основные принципы работы различных видов ВИЭ и систем хранения энергии, современные тенденции и перспективы развития возобновляемой энергетики, экологические и экономические аспекты применения ВИЭ, проблемы и вызовы интеграции ВИЭ в энергосистемы, ключевые технологии преобразования, накопления и распределения энергии.

Практические умения включают: оценку потенциала использования различных ВИЭ в конкретных регионах; расчёт экономической целесообразности установки и эксплуатации ВИЭ; разработку и обоснование проектов интеграции ВИЭ в энергосистему; анализ и оптимизацию работы систем накопления энергии; применение полученных знаний для решения практических задач, связанных с использованием ВИЭ.

Реализация данной программы соответствует приоритетам Государственной программы по развитию энергоэффективности и возобновляемой энергетики Республики Беларусь, целям устойчивого развития ООН, в особенности целям 7 (доступная и чистая энергия), 8 (достойная работа и экономический рост), 12 (ответственное потребление и производство) и 13 (борьба с изменением климата).

Подготовка специалистов, обладающих компетенциями в области возобновляемой энергетики, создаёт предпосылки для расширения применения ВИЭ в Беларуси, снижения зависимости от импортных энергоносителей, создания новых рабочих мест в высокотехнологичном секторе экономики.

Опыт внедрения самостоятельного предмета «Возобновляемые источники энергии» в Гомельском государственном политехническом колледже демонстрирует, что интеграция инновационных курсов в образовательные программы среднего специального образования является не только возможной, но и необходимой для подготовки компетентных кадров, способных работать в условиях энергетического перехода.

Сочетание теоретического обучения с практической подготовкой в ресурсных центрах, апробированное на примере данного курса, может служить моделью для развития других специальностей и направлений в области энергоэффективности, промышленной автоматизации, цифровых технологий. Данный опыт может быть

успешно адаптирован и в других учреждениях среднего специального образования Республики Беларусь и региона в целом.

### **Список использованных источников**

1. Удалов, С. Н. Возобновляемая энергетика : учеб. пособие для вузов по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» / С. Н. Удалов. – 2-е изд., испр. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 624 с. – ISBN 978-5-9729-2068-6.
2. Денисов, В. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие для студентов вузов / В. В. Денисов, В. В. Гутенев, И. А. Денисова [и др.] ; под ред. В. В. Денисова. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2015. – 318 с. – ISBN 978-5-222-22949-1.
3. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 24 февраля 2021 г., № 103 / Совет Министров Республики Беларусь. – Минск : Департамент по энергоэффективности, 2021. – 48 с.

УДК 621.793:539.234:539.534.9

**В.В. Поплавский, О.Г. Бобрович, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### **ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ И МЕМБРАННО-ЭЛЕКТРОДНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

***Аннотация.** Разработана лабораторная технология формирования электрокатализаторов и мембранно-электродных блоков для топливных элементов прямого окисления этанола и метанола с полимерным мембранным электролитом.*

**V.V. Poplavsky, O.G. Bobrovich, A.V. Dorozhko, V.G. Matys**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

### **FORMATION OF ELECTROCATALYSTS AND MEMBRANE-ELECTRODE ASSEMBLIES FOR FUEL CELLS**