

**ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
(13.00.08)  
ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ  
(05.14.08)**

УДК 621.311.26

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-90-97

**Результаты научных исследований и подготовки специалистов по возобновляемой энергетике в Южно-Уральском государственном университете**

И.М. Кирпичникова, В.А. Заварухин, А.Ю. Сологубов, В.В. Шестакова

Приведена история становления учебного направления по возобновляемой энергетике в Южно-Уральском государственном университете (национальном исследовательском университете), описано создание специализированных лабораторий и методического обеспечения, особенности образовательного процесса в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре. Раскрыты инновационные методы обучения с использованием открытых on-line курсов и виртуальных стендов. Проектное обучение в рамках магистерских программ позволяет расширить границы обучения и выйти на высокий уровень исследовательских работ студентов с публикацией результатов в высокорейтинговых журналах. Показаны основные направления научной работы, цели и задачи создания международного инновационного центра «Альтернативная энергетика» и центра коллективного пользования «Ветроэнергетика». Представлены некоторые темы и результаты исследований по использованию возобновляемых источников энергии в процессах получения тепловой и электрической энергии, способам защиты солнечных модулей от перегрева, загрязнения и деградации. Дальнейшее развитие направления предполагает создание и использование на базе Порожской ГЭС, одной из старейших в России, образовательного центра, включающего объекты возобновляемой энергетики: ветроэнергетические установки, солнечные энергоустановки и малую ГЭС. Совершенствование образовательного процесса видится в создании образовательных программ опережающей подготовки элитных кадров для распределенной энергетики.

*Ключевые слова:* деградация солнечных модулей, система слежения за солнцем, малая гидроэнергетика, возобновляемая энергетика, образовательный процесс.

*Для цитирования:* Кирпичникова И.М., Заварухин В.А., Сологубов А.Ю., Шестакова В.В. Результаты научных исследований и подготовки специалистов по возобновляемой энергетике в Южно-Уральском государственном университете // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 90—97. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-90-97.

**Results of Scientific Research and Training of Specialists in Renewable Energy at the South Ural State University**

I.M. Kirpichnikova, V.A. Zavarukhin, A.Yu. Sologubov, V.V. Shestakova

This article describes the history of establishing the educational discipline on renewable energy at the South Ural State University (national research university), including the development of dedicated laboratories and methodological support, and the features of the educational processes in undergraduate, graduate and postgraduate studies. The innovative teaching methods with using open on-line courses and virtual test benches are described. The project-oriented learning in the framework of master's programs opens the possibility to expand

the learning boundaries and reach a high level of student research works with publishing the obtained results in high-ranked journals. The article shows the main scientific work areas, as well as the goals and objectives of establishing the international innovation center Alternative Energy and the shared research center Wind Energy. Some topics and results of research works on using renewable energy sources in heat and electricity generation processes, and ways to protect solar modules from overheating, contamination and degradation are presented. The further development of the research area involves establishing and using an educational center on the basis of the Porogi hydroelectric power station (HPS), which is among the oldest ones in Russia, that includes renewable energy facilities such as wind power plants, solar power plants, and a small hydroelectric power station. The further improvement of the educational process is seen in the development of educational programs for advanced training of elite personnel for distributed energy systems.

*Key words:* degradation of solar modules, solar tracking system, small hydropower, renewable energy, educational process.

*For citation:* Kirpichnikova I.M., Zavarukhin V.A., Sologubov A.Yu., Shestakova V.V. Results of Scientific Research and Training of Specialists in Renewable Energy at the South Ural State University. Bulletin of MPEI. 2022;4:90—97. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-90-97.

## Введение

Многочисленные научные материалы и экологические отчеты, в которых приведены анализ современной энергетики и перспективы ее развития, указывают на то, что чрезмерное потребление ископаемого топлива стало основной причиной разрушения окружающей среды, глобального изменения климата, загрязнения воздуха и различных заболеваний. В соответствии с актуальной темой сокращения органического ископаемого топлива, возобновляемые источники энергии (ВИЭ) все более востребованы для производства тепловой и электрической энергии.

Подготовка специалистов по проектированию, моделированию и эксплуатации энергоустановок на основе ВИЭ — одна из важнейших в системе высшего и специального образования. Специалисты данного профиля (экономисты, маркетологи, конструкторы, юристы, и пр.) чрезвычайно необходимы. Основная задача ложится на энергетиков, имеющих компетенции в разработке и использовании энергоустановок, работающих на экологически чистых источниках энергии.

## Подготовка специалистов

В Южно-Уральском государственном университете г. Челябинска ведется подготовка специалистов для малой и распределенной энергетики. В 2007 г. на кафедре электротехники состоялся первый набор студентов на профиль «Возобновляемая энергетика» направления 140200 Электроэнергетика [1, 2]. Форма обучения — очная и заочная, степень — бакалавр.

Федеральные государственные программы высшего образования Российской Федерации позволяют создавать магистерские программы по различным направлениям использования возобновляемых источников энергии. Одна из таких программ — «Комплексное использование возобновляемых источников энергии» открыта на кафедре в 2010 г. тогда же состоялся первый набор студентов, а кафедра получила название электротехники и возобновляемых источников энергии.

Все дисциплины бакалавриата и магистратуры методически обеспечены сотрудниками кафедры для учебно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии, используемой не только в

учебном и научном процессе, но и для проведения различных олимпиад и конференций школьников и учащихся Челябинска и области, а также для организации экскурсий с целью демонстрации возможностей преобразования солнечной, ветровой и другой природной энергии в электрическую энергию для потребителей.

В связи с вынужденным переходом университета на дистанционный режим обучения разработан виртуальный исследовательский комплекс «Альтернативные и возобновляемые источники энергии», представляющий собой виртуальные модули «Солнечная энергетика», «Ветроэнергетика», «Геотермальная энергетика», «Биогазовая энергетика» и «Водородная энергетика». Комплекс позволяет моделировать процессы преобразования энергии, менять исходные данные, и проводить лабораторные работы со студентами заочно в соответствии с выданными преподавателем заданиями и программой работы.

Для специалистов, работающих в энергетике, но не имеющих специальных знаний по использованию ВИЭ, на кафедре организуются курсы повышения квалификации, в том числе с применением дистанционного обучения с использованием коммуникационных программ удаленного доступа.

Расширить возможности передачи информации по данному направлению позволяют набирающие популярность массовые онлайн курсы (MOOC) на российских и международных интернет-площадках. Профессором кафедры, д.т.н. И.М. Кирпичниковой подготовлен курс «Возобновляемая энергетика» и записан на платформе Лекториума в профессиональной студии Санкт-Петербурга в виде 55 тематических видеороликов [3].

В первый год функционирования программы ее участниками стали около 1000 человек от школьного до глубокого пенсионного возраста. Это говорит о том, что тема экологически чистой энергетики интересна населению. Курс — постоянно действующий, статистика показывает, что с каждым годом слушателей становится все больше.

Учитывая, что во многих странах Европы, Америки, Китая и др. использование возобновляемых видов энергии уже обрело свое стабильное развитие, опора на зарубежный опыт имеет большое значение.

Кафедра имеет прочные международные связи по научным и образовательным направлениям со многими университетами и организациями мира.

На основе сотрудничества с американскими учеными по теме НИР «Разработка и создание масштабируемой ветроэнергетической установки на основе оптимизационной методологии с организацией центра коллективного пользования» созданы Международный инновационный центр «Альтернативная энергетика» (МИЦ АЭ), и Центр коллективного пользования «Ветроэнергетика» [4, 5]. Экспериментальный образец вертикально-осевой ветроэнергетической установки ВЭУ-1(3) установлен на кровле учебного корпуса ЮУрГУ (рис. 1).

МИЦ «Альтернативная энергетика» ЮУрГУ с 2013 г. является подразделением кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения (переименована в результате объединения трех кафедр энергетического факультета). Заведующая кафедрой — д.т.н., профессор И.М. Кирпичникова, руководитель центра АЭ — д.т.н., профессор кафедры Е.В. Соломин. Оба они являются членами Комитета Российского союза научных и инженерных организаций (РосСНИО) по проблемам использования возобновляемых источников энергии (Комитет ВИЭ) (г. Москва). За заслуги в данной области энергетики И.М. Кирпичникова стала победителем Всероссийского конкурса «Инженер года — 2009» по версии «Профессиональные инженеры», номинации «Возобновляемые источники энергии (ветроэнергетика)».

В задачи МИЦ «АЭ» входит выполнение НИР, ОКР по использованию различных ВИЭ, публикация результатов научных исследований, развитие международных связей, проведение совместных исследований, оказание консультативных и практических услуг организациям, учреждениям и другое.

Учебный процесс на кафедре постоянно совершенствуется. Для проектирования и создания установок на основе ВИЭ на базе магистерской программы открыт



Рис. 1. ВЭУ-1(3) на фоне Южно-Уральского государственного университета

курс проектного обучения «Объект распределенной генерации на основе возобновляемых источников и эффективного энергопотребления с интеллектуальной smart-грид системой» («Умный дом»). По результатам проектной деятельности студентами опубликовано около 50-и научных работ, включая высокорейтинговые журналы.

При кафедре действует инженерная школа «Альтернативная и возобновляемая энергетика» для учащихся и школьников Челябинска. Ее задачами являются популяризация экологически чистых источников энергии, привлечение учащихся школ к разработке собственных проектов по чистой энергетике, ориентация школьников и учащихся по выбору профессии. Тематика инженерной школы приобретает все большую популярность среди молодых людей, а их участие со своими проектами в различных конкурсах делает ее еще более привлекательной.

Развитие возобновляемой энергетики в России сдерживается многими факторами, чего нельзя сказать о зарубежных странах, там ввод мощностей и количество энергоустановок на основе ВИЭ постоянно растет. В разных странах тенденция проявляется по-разному, однако, возобновляемая энергетика становится одной из стабильных отраслей экономики. Учитывая богатый опыт стран по проектированию, созданию и эксплуатации объектов ВИЭ, наш университет взял курс на сотрудничество со многими университетами и организациями в области проведения совместных научных исследований, стажировок, обмена студентов и преподавателей.

Сотрудничество в области создания и испытания ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения налажено с университетами США: US-University United (UUU), г. Карсон Сити, шт. Невада; California State University, Fresno — Lyles College, г. Фресно, шт. Калифорния; Sonoma State University, College of Science and Technology Rohnert Park, г. Ронет Парк, шт. Калифорния.

Договор о сотрудничестве с испанским университетом Кадиса (Universidad de Cadiz, г. Кадис) предполагает совместные научные исследования и стажировку преподавателей в университете и на предприятии Igfoton (г. Кадис) по производству солнечных модулей. Результаты представлены на Международной научно-практической конференции «Будущее альтернативной энергетики: реалии и перспективы» на Всемирной выставке EXPO — 2017, Астана, Казахстан.

Программа двойных дипломов реализована с Лаппенрантским технологическим университетом (Lappeenranta University of Technology, Финляндия), по профилю подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика» магистерской программы «Комплексное использование возобновляемых источников энергии». Финляндия, как и Швеция — страны, имеющие похожие с Россией климатические условия, поэтому опыт приме-

нения ВИЭ для получения тепловой и электрической энергии в этих странах очень интересен и для наших регионов [6].

### Обзор научных исследований

Научная работа традиционно ведется по основным направлениям использования возобновляемых источников энергии: ветроэнергетика, солнечная энергетика, малая гидроэнергетика и использование низкопотенциального тепла.

Исследование в области ветроэнергетики началось на кафедре в 2004 г. С тех пор разработана и создана линейка вертикально-осевых ветроэнергетических установок мощностью от 100 Вт и до 30 кВт (рис. 2) [7 — 9].

Опытные образцы прошли испытания в различных точках нашей страны и за рубежом (США, штат Калифорния; Япония, префектура Акита).

Актуальным является вопрос управления ориентацией ротора горизонтально-осевых ветроэнергетических установок (ГО ВЭУ). Ученые и аспиранты кафедры под руководством Е.В. Соломина работают над вопросом создания сверхрентабельного метода определения и устранения рассогласования угла ориентации ГО ВЭУ. Проблема аналитически описана в виде возникновения косинусоидальной ошибки угла отклонения потока от вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения ротора. Прикладная значимость работы заключается в тиражировании созданного программного обеспечения в мировом масштабе [10].

Известно, что повсеместное внедрение солнечной энергетики сдерживается из-за низкой эффективности преобразования солнечных лучей в электрическую энергию. Влияние таких факторов, как перегрев поверхности, механические повреждения, загрязнения и др. лишь усугубляет ситуацию [11]. Подобная проблема существует на многих солнечных электростанциях, в том числе, и на Орской СЭС им. Влазнева. Вопросы, возникающие при эксплуатации солнечных батарей,

сформулированные руководством станции, стали темой исследований аспирантов кафедры.

Для защиты от перегрева модулей в условиях жаркого климата эксплуатации предлагается использовать специальную голографическую пленку с эффектом отражения инфракрасной составляющей солнечного спектра и с внутренним рисунком пленки в виде призмаконов для повышения концентрации солнечных лучей [12, 13].

Проблема эксплуатации солнечных модулей заключается в их запыленности и загрязнении по причине пылевых бурь, осадков, птиц и животных, пыльцы и листьев деревьев, выбросов промышленных предприятий, транспорта и т. п. Загрязнение понижает КПД солнечных установок на 25...30% из-за затенения поверхности и снижения поглощения ею солнечных лучей.

Использование устройств на основе электронно-ионной технологии защищает модули от загрязнения мелкодисперсной пылью в промышленных регионах страны. Устройство работает таким образом, что при попадании частиц пыли в электрическое поле, создаваемое проводниками, она захватывается, либо отталкивается силами этого поля (кулоновской, пандеромоторной и др.). В этом случае поверхность модулей остается чистой, трудовые и ресурсные (вода) затраты сводятся к минимуму [14].

Постоянный перегрев и загрязнение модулей ведут к их преждевременной деградации, которую не так просто предугадать, и предпринять своевременные меры по ее снижению. Возникает необходимость в оценке скорости деградации, обусловленной возможностью значительного снижения выходной мощности, что напрямую влияет на надежность и срок окупаемости системы.

Несмотря на высокий темп развития технологий производства солнечных панелей, до сих пор в эксплуатации находятся панели прошлых поколений, а также панели, требующие дополнительных технических решений для стабильной работы, поэтому оценка степени их деградации должна проводиться своевременно.



Рис. 2. Ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения

В зависимости от причины и скорости деградации определяют метод снижения её воздействия [15].

Для большого количества последовательно соединенных панелей особую опасность представляют токи утечки или деградации, вызванные потенциалом (Potential-induced Degradation) [16]. Суть данного явления заключается в снижении сопротивления изоляционных материалов модуля. На скорость деградации влияют напряжение цепи последовательно соединенных модулей, качество материалов и влажность воздуха.

Благодаря анализу данных значений выходных токов и напряжений можно оценить степень текущей деградации, а также ее тип, исходя из сравнения вольт-амперных характеристик модулей. Для этого предложено внедрение системы Smart Grid в работу солнечных электростанций, что повысит качество вырабатываемой энергии, а также надежность системы.

Для увеличения генерации электрической энергии целесообразно использование специальных устройств слежения за солнцем (трекеров).

Для географических широт с низким положением солнца в осенне-зимний период года эффективен трёхкоординатный позиционный сферический манипулятор, разработанный на кафедре ЭССиСЭ [17, 18].

Солнечную панель устанавливают на подвижную платформу, специальная система управления отслеживает точку максимальной энергоэффективности. Система работает на сверхнизких скоростях, следуя за перемещением солнца по небосводу и обеспечивая постоянное положение лицевой части солнечной панели перпендикулярно солнечному диску.

Концепция проектирования и создания таких систем основана на принципиально новом трёхкоординатном позиционном сферическом манипуляторе с установленной на подвижную платформу солнечной батареей, приводимом в движение тремя коаксиальными вентильно-индукторными двигателями под управлением системы экстремального регулирования для отслеживания точки максимальной энергоэффективности.

Управление манипулятором осуществляется с помощью разработанной и запатентованной программы [19].

В области малой гидроэнергетики научная работа сосредоточена, в основном, на исследовании потенциала малых рек, использовании гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Урала и поиска возможности строительства новых малых ГЭС [20].

На территории Саткинского района Челябинской области расположена Порожская ГЭС — одна из старейших малых гидроэлектростанций России, построенная в 1910 г. (рис. 3).

К сожалению, за более чем столетний срок эксплуатации она стала разрушаться, и необходимо предпринять срочные меры для ее сохранения. Кафедра ЭССиСЭ выступила инициатором проекта восстановления Порожской гидроэлектростанции, как объекта культурного наследия, представляющего собой уникальное гидротехническое сооружение, и памятника инженерной мысли прошлого века.

Руководством университета утвержден проект «Создание энергетического комплекса Саткинского района Челябинской области с использованием возобновляемых источников энергии», в который войдут ГЭС, ВЭС и СЭС. В его рамках планируется создание учебно-исследовательского центра распределенной и возобновляемой энергетики, где будут учиться не только студенты нашего университета, но и других ВУЗов и стран.

Проект связан с отработкой и внедрением идей и технологий малой и распределенной генерации на территории Челябинской области. Сатка включена в список «Smart City» Российской Федерации в рамках программы «Цифровая экономика», разработанной по поручению Президента РФ и утвержденной Правительством страны в июле 2018 г., что поспособствует развитию проекта.

Для сбалансированной и согласованной совместной работы солнечной, ветровой и гидро- электростанций, а также интеграции комплекса в электрическую сеть, необходимо провести научные исследования, результаты которых будут использованы при подготовке кандидатских и докторских диссертаций. Планируется



Рис. 3. Порожская ГЭС

привлечение ученых других университетов и организаций, как зарубежных, так и из России.

Таким образом, у кафедры открываются широкие возможности для подготовки кадров высшей квалификации, аспирантов и соискателей в направлении использования возобновляемых источников энергии. По теме использования ВИЭ уже защищены 7 кандидатских диссертаций и одна докторская.

Руководством университета взят курс на создание образовательных программ опережающей подготовки элитных кадров для распределенной энергетики. Общая структура программы отражает развитие направления ВИЭ для создания профилей по солнечной, ветровой, гидроэнергетике, новых и альтернативных источников энергии. Кроме того, уделяется внимание программам дополнительного образования и повышения квалификации для специалистов отрасли.

На кафедре ЭССиСЭ в настоящее время работают в должности старших научных сотрудников профес-

сора из Индии, Малайзии, Ирана, Бельгии, Греции. Благодаря совместным научным работам расширяются направления научных исследований в области утилизации CO<sub>2</sub> на энергетических и промышленных предприятиях, разработка и изучение наножидкостей и др.

### Заключение

Представленный обзор научных исследований и учебно-методической работы кафедры ЭССиСЭ ЮУрГУ (НИУ) показал высокий потенциал ее сотрудников и специалистов в области возобновляемой энергетики.

В связи со значительными изменениями климата и необходимостью решения вопроса декарбонизации промышленных газов развитие данного направления имеет большие научные и образовательные перспективы, а выпускники кафедры — интересную и социально значимую профессию.

### Литература

1. Шестаков А.Л., Кирпичникова И.М. Южно-Уральский государственный университет как стартовая площадка энергосберегающих технологий и использования возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 1(81). С. 149—152.
2. Кирпичникова И.М. Развитие направления возобновляемой энергетики в учебном процессе Южно-Уральского государственного университета // Возобновляемая и малая энергетика — 2012: Сб. трудов IX Междунар. ежегодной конф., посвященной десятилетию образования Комитета ВИЭ РосСНИО». М.: Комитет ВИЭ РосСНИО, 2012. С. 61—66.
3. Лекториум [Официальный сайт] [www.lektorium.tv/moc2/29772](http://www.lektorium.tv/moc2/29772) (дата обращения 15.01.2022).
4. Лятхер В.М., Кирпичникова И.М., Соломин Е.В. Оптимизация профиля лопастей ортогональной ветроэнергетической установки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2013. Т. 13. № 1. С. 112—118.
5. Лятхер В.М., Кирпичникова И.М., Соломин Е.В. Ортогональная сбалансированная ветроэнергетическая установка малой мощности // Там же. С. 63—69.
6. Kirpichnikova I.M., Sulamaa P. Renewable Energy Sources in Finland and Russia – a Review // Baltic Sea Policy Briefing [Электронный ресурс] [www.centrumbalticum.org/en/news/e-publications](http://www.centrumbalticum.org/en/news/e-publications) (дата обращения 15.01.2022).
7. Кирпичникова И.М., Соломин Е.В., Кривошипский В.П. Ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения // Известия Академии электротехнических наук РФ. 2010. № 1. С. 56—60.
8. Кирпичникова И.М., Мартыанов А.С., Соломин Е.В. Преобразование энергии в ветроэнергетических установках // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 1(81). С. 93—97.

### References

1. Shestakov A.L., Kirpichnikova I.M. Yuzhno-Ural'skiy Gosudarstvennyy Universitet kak Startovaya Ploshchadki Energoberegayushchikh Tekhnologiy i Ispol'zovaniya Vozobnovlyаемых Istochnikov Energii. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya. 2010;1(81):149—152. (in Russian).
2. Kirpichnikova I.M. Razvitie Napravleniya Vozobnovlyаемой Energetiki V Uchebnom Protseste Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Vozobnovlyаемая i Malaya Energetika — 2012: Sb. Trudov IX Mezhdunar. Ezhegodnoy Konf., Posvyashchennoy Desyatiletuyu Obrazovaniya Komiteta VIE RosSNIO». M.: Komitet VIE RosSNIO, 2012:61—66. (in Russian).
3. Lektorium [Ofits. Sayt] [www.lektorium.tv/moc2/29772](http://www.lektorium.tv/moc2/29772) (Data Obrashcheniya 15.01.2022). (in Russian).
4. Lyatkher V.M., Kirpichnikova I.M., Solomin E.V. Optimizatsiya Profilya Lopastey Ortogonal'noy Vetroenergeticheskoy Ustanovki. Vestnik YUUrGU. Seriya «Mashinostroenie». 2013;13;1:112—118. (in Russian).
5. Lyatkher V.M., Kirpichnikova I.M., Solomin E.V. Ortogonal'naya Sbalansirovannaya Vetroenergeticheskaya Ustanovka Maloy Moshchnosti. Tam zhe:63—69. (in Russian).
6. Kirpichnikova I.M., Sulamaa P. Renewable Energy Sources in Finland and Russia – a Review. Baltic Sea Policy Briefing [Elektron. Resurs] [www.centrumbalticum.org/en/news/e-publications](http://www.centrumbalticum.org/en/news/e-publications) (Data Obrashcheniya 15.01.2022).
7. Kirpichnikova I.M., Solomin E.V., Krivospitskiy V.P. Vetroenergeticheskie Ustanovki s Vertikal'noy Os'yu Vrashcheniya. Izvestiya Akademii Elektrotekhnicheskikh Nauk RF. 2010;1:56—60. (in Russian).
8. Kirpichnikova I.M., Mart'yanov A.S., Solomin E.V. Preobrazovanie Energii v Vetroenergeticheskikh Ustanovkakh. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya. 2010;1(81):93—97. (in Russian).

9. Solomin E., Kirpichnikova I., Martyanov A. Simulation of a Generator for a Wind-power Unit // Russian Electrical Eng. 2013. V. 84. No. 10. Pp. 577—580.
10. Solomin E.V. e. a. Horizontal-axis Wind Turbine Weathervane Yaw Differential // Vestnik Samarskogo Gos. Tekhn. Un-ta. Seriya «Fiziko-Matematicheskie Nauki». 2021. V. 25. No. 2. Pp. 365—380.
11. Кирпичникова И.М. Разработки Южно-Уральского государственного университета в области использования возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 5(145). С. 54—57.
12. Пат. № 201526 РФ. Голографическая пленка на основе призмаконов / Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б., Сироткин Е.А. // Бюл. изобрет. 2020. № 36.
13. Kirpichnikova I.M., Sudhakar K., Makhsunov I.B., Martyanov A.S., Shanmuga Priya S. Thermal Model of a Photovoltaic Module with Heat-protective film // Case Studies in Thermal Engineering. 2022. V. 30. P. 101744.
14. Кирпичникова И.М., Шестакова В.В. Электрические свойства пыли и их влияние на работу солнечных модулей // Энергосбережение и водоподготовка. 2021. № 4(132). С. 10—14.
15. Кирпичникова И.М., Заварухин В.А. Дegradация солнечных модулей. Виды, причины, методы диагностики модулей // Энергосбережение и водоподготовка. 2021. № 2(130). С. 37—43.
16. Pingel S. e. a. Potential Induced Degradation of Solar Cells and Panels // Proc. 35<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conf. Honolulu, 2010, Pp. 002817—002822.
17. Sologubov A.Yu., Kirpichnikova I.M. Multi-variable Control of Solar Battery Power by Extremum Seeking: Starting from Linear Analysis // Machines. 2019. V. 7(4). Pp. 64—96.
18. Сологубов А.Ю., Кирпичникова И.М. Обзор современных сенсорных технологий в системах слежения за Солнцем // Технический оппонент. 2019. № 1(2). С. 54—60.
19. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019665999 RU. Программа формирования двухпараметрических временных сеток для вычисления солнечной позиции и обработки угловых данных расчёта / Сологубов А.Ю., Кирпичникова И.М.
20. Пташкина-Гирина О.С., Гусева О.А. Оценка целесообразности электроснабжения от малых ГЭС // Вестник ИрГСХА. 2017. № 81(2). С. 105—111.
9. Solomin E., Kirpichnikova I., Martyanov A. Simulation of a Generator for a Wind-power Unit. Russian Electrical Eng. 2013;84;10:577—580.
10. Solomin E.V. e. a. Horizontal-axis Wind Turbine Weathervane Yaw Differential. Vestnik Samarskogo Gos. Tekhn. Un-ta. Seriya «Fiziko-Matematicheskie Nauki». 2021;25;2:365—380. (in Russian).
11. Kirpichnikova I.M. Razrabotki Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta v Oblasti Ispol'zovaniya Vozobnovlyаемых Istochnikov Energii. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya. 2014;5(145):54—57. (in Russian).
12. Pat;201526 RF. Golograficheskaya Plenka na osnove Prizmakonov. Kirpichnikova I.M., Makhsunov I.B., Sirotkin E.A. Byul. Izobret. 2020;36. (in Russian).
13. Kirpichnikova I.M., Sudhakar K., Makhsunov I.B., Martyanov A.S., Shanmuga Priya S. Thermal Model of a Photovoltaic Module with Heat-protective film. Case Studies in Thermal Engineering. 2022;30:101744.
14. Kirpichnikova I.M., Shestakova V.V. Elektricheskie Svoystva Pyli i Ikh Vliyanie na Rabotu Solnechnykh Moduley. Energoberezhenie i Vodopodgotovka. 2021;4(132):10—14. (in Russian).
15. Kirpichnikova I.M., Zavarukhin V.A. Degradatsiya Solnechnykh Moduley. Vidy, Prichiny, Metody Diagnostiki Moduley. Energoberezhenie i Vodopodgotovka. 2021;2(130):37—43. (in Russian).
16. Pingel S. e. a. Potential Induced Degradation of Solar Cells and Panels. Proc. 35<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conf. Honolulu, 2010, Pp. 002817—002822.
17. Sologubov A.Yu., Kirpichnikova I.M. Multi-variable Control of Solar Battery Power by Extremum Seeking: Starting from Linear Analysis. Machines. 2019. V. 7(4). Pp. 64—96.
18. Sologubov A.Yu., Kirpichnikova I.M. Obzor Sovremennykh Sensornykh Tekhnologiy v Sistemakh Slezeniya za Solntsem. Tekhnicheskii Opponent. 2019;1(2):54—60. (in Russian).
19. Svidetel'stvo o Registratsii Programmy dlya EVM № 2019665999 RU. Programma Formirovaniya Dvukh-parametricheskikh Vremennykh Setok dlya Vychisleniya Solnechnoy Pozitsii i Obrabotki Uglovykh Dannykh Rascheta. Sologubov A.Yu., Kirpichnikova I.M. (in Russian).
20. Ptashkina-Girina O.S., Guseva O.A. Otsenka Tselesoobraznosti Elektrosnabzheniya ot Malykh GES. Vestnik IrGSKHA. 2017;81(2):105—111. (in Russian).

#### Сведения об авторах:

**Кирпичникова Ирина Михайловна** — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой электрических станций, сетей и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), Челябинск, e-mail: kirpichnikovaim@susu.ru

**Заварухин Владимир Александрович** — аспирант кафедры электрических станций сетей и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), Челябинск

**Сологубов Андрей Юрьевич** — аспирант кафедры электрических станций сетей и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), Челябинск

**Шестакова Валерия Вячеславовна** — аспирант кафедры электрических станций сетей и систем электроснабжения Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), Челябинск

**Information about authors:**

**Kirpichnikova Irina M.** — Dr.Sci. (Techn.), Professor, Head of Power Stations, Networks and Power Supply Systems Dept., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: kirpichnikovaim@susu.ru

**Zavarukhin Vladimir A.** — Ph.D.-student of Power Stations, Networks and Power Supply Systems Dept., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk

**Sologubov Andrey Yu.** — Ph.D.-student of Power Stations, Networks and Power Supply Systems Dept., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk

**Shestakova Valeriya V.** — Ph.D.-student of Power Stations, Networks and Power Supply Systems Dept., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Статья поступила в редакцию:** 31.01.2022

**The article received to the editor:** 31.01.2022