

Токарев Кирилл Евгеньевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru

Ханин Юрий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: haninyu5@gmail.com

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика», заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Author's information

Lebed Nikita Igorevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher at the Laboratory of Irrigation Systems and Watering Control, Department of Irrigation Technologies, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Institution "FSC VNIIGIM named after A. N. Kostyakov", (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Tokarev Kirill Evgenievich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling and Informatics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru

Khanin Yuri Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: haninyu5@gmail.com

Fomin Sergey Denisovich, Professor of the Department of Mechanics, Doctor of Engineering I Sciences, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-40

FORMATION AND DEVELOPMENT OF ENERGY AND ECOLOGY CONVERGENCE IN GREENHOUSE HORTICULTURE AS A NEW SCIENTIFIC FIELD AT THE INSTITUTE OF AGRICULTURAL ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Rakutko S. A.

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSBSI FSAC VIM
Saint Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: sergej1964@yandex.ru

Received 08.01.2024

Submitted 22.02.2024

Summary

The fruitfulness of the joint energy and ecological approach to greenhouse horticulture in obtaining scientific knowledge is revealed.

Abstract

Introduction. The issues of energy saving, ecology and light culture are priorities in the practice and scientific and technological development of the agro-industrial complex. The concept has been put forward that at the present stage it is advisable to talk about the energy ecology of horticulture (EEH) as a new complex scientific direction based on taking into account the flows of substances that form the energy and environmental indicators of an artificial bioenergy system. **Object** of the study is scientific activity and factors of scientific productivity of the specialized laboratory of the EEH of Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP). The study **aimed** to reveal the fruitfulness of the joint energy and ecological approach to greenhouse horticulture in obtaining scientific knowledge at the intersection of the mentioned subject areas. **The history of laboratory.** It is noted that the scientific tradition of the IEEP has always been characterized by increased attention to problems in these areas. The relevance of the study of the experience of the formation and development of the EEH laboratory was substantiated. **Materials and methods.** The study identified the main research areas with the biggest publication activity of the laboratory experts. The study included a comparative scientometrical analysis of publications in the laboratory and the institute. **Results and conclusions.** The study formulated the paradigm of energy and ecology convergence in greenhouse horticulture as a new scientific field. The paper cites the most important scientific results of the laboratory: energy saving and efficiency; the designing of phytoirradiators, greenhouse irradiation installations, instrumentation and metrological practices; developing a teaching technology of energy saving for professionals; setting up special experiments in greenhouse horticulture; identifying the properties of plants as elements of an ecosystem, their developmental stability, bioindication issues; applied theory of energy saving, artificial bioenergy system; energy and eco-friendliness of greenhouse horticulture, energy and ecological auditing. The study revealed the important role of the institute in establishing and developing the energy and ecology convergence in greenhouse horticulture as a scientific field. An important organizational

factor was to open a specialized scientific laboratory. Its research activity contributed greatly to the scientific image of the institute. In the publication activity, the laboratory ranks high among other scientific departments of IEEP. Over the decade of scientific activity, its researchers published above 200 scientific papers, received 29 patents for inventions. The practical developments received 11 gold medals at Exhibition of National Economy Achievements in Moscow and AGRORUS exhibition in Saint Petersburg.

Keywords: greenhouse horticulture, energy and ecology of horticulture, closed plant production system.

Citation. Rakutko S. A. Formation and development of energy and ecology convergence in greenhouse horticulture as a new scientific field at the institute of agricultural engineering and environmental problems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 332-346 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-40.

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

УДК 001.89:631.95:631.544.4

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИИ СВЕТОКУЛЬТУРЫ КАК НОВОГО НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ИНСТИТУТЕ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Ракутько С. А., доктор технических наук, главный научный сотрудник

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) –
филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Вопросы энергосбережения, экологии и светокультуры являются приоритетными в практике и научно-технологическом развитии агропромышленного комплекса. Выдвинута концепция, что на современном этапе целесообразно говорить об энергоэкологии светокультуры (ЭЭС) как о новом комплексном научном направлении, основанном на учете потоков субстанций, формирующих энергетические и экологические показатели искусственной биоэнергетической системы. **Объект исследования** – научная деятельность и факторы научной продуктивности специализированной лаборатории ЭЭС института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП). **Цель работы** – раскрыть плодотворность парадигмы энергоэкологического подхода к светокультуре в получении научного знания на стыке соответствующих предметных областей в научной деятельности лаборатории ЭЭС. **История лаборатории.** Отмечено, что для научной традиции ИАЭП было всегда характерным повышенное внимание к проблемам в этих областях. Обосновали актуальность исследования опыта становления и развития лаборатории ЭЭС. **Материалы и методы.** Выделили основные направления исследований, в которых наблюдается максимальная публикационная активность лаборатории. Провели сравнительный наукометрический анализ по публикациям лаборатории и института в целом. **Результаты и выводы.** Сформулировали парадигму ЭЭС как нового научного направления. Представили важнейшие научные результаты деятельности лаборатории по направлениям энергосбережение и энергоэффективность; фитооблучатели и тепличные облучательные установки; приборное обеспечение и метрология; профессионально-ориентированная технология обучения энергосбережению; экспериментальная светокультура; свойства растений как элементов экосистемы, стабильность развития, биоиндикация; прикладная теория энергосбережения, искусственная биоэнергетическая система; энергоэкология светокультуры, энергоэкологичность, энергоэкоаудит. Показано, что ИАЭП сыграл важную роль в формировании и развитии ЭЭС как научного направления. Важным организационным фактором этого явилась организация специализированной научной лаборатории. Анализ показал, что роль лаборатории ЭЭС в формировании научного имиджа института весьма значительна. По публикационной активности лаборатория занимает заметное положение среди других научных подразделений института. За десятилетие научной деятельности ее сотрудниками опубликовано более 200 научных работ, получено 29 патентов на изобретения, результаты практических разработок удостоены 11 золотых медалей на выставках ВДНХ и АгроРусь.

Ключевые слова: светокультура, энергоэкология светокультуры, закрытые производственные системы.

Цитирование. Ракутько С. А. Становление и развитие энергоэкологии светокультуры как нового научного направления в институте агроинженерных и экологических проблем. *Известия НВ АУК.* 2024. 2(74). 332-346. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-40.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования непосредственно участвовал в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Автор настоящей статьи изучил и одобрил представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Человек выращивает растения в искусственно создаваемых климатических условиях с весьма древних времен [1]. Однако применение электрических источников оптического излучения (ОИ) для этих целей, то есть собственно технология светокультуры, впервые упомянута в работах Бейли (Bailey L. H., 1858-1954), который в 1891 году выпустил свою *The standard cyclopedia of horticulture* [2]. Начальному этапу развития светокультуры соответствовала своя система понятий, совокупность методов и подходов, которые определяли рамки и направления исследований внутри предметной области, то есть то, что сейчас мы называем научной парадигмой [3]. Эту парадигму можно назвать «традиционной». В ее основу положена максимизация продуктивности растений, чему подчинен выбор приемов выращивания, технических и технологических средств культивационного сооружения. Широко распространенная периодизация развития светокультуры, опирающаяся на появление и совершенствование новых типов источников света, так же целиком укладывается в рамки традиционной парадигмы [4, 5].

К настоящему времени среди исследователей все большее применение находит системный подход, согласно которому светокультура рассматривается как искусственная биоэнергетическая система (ИБЭС). В зарубежной литературе применяется понятие закрытая производственная система (*closed plant production system, CPPS*), относимое преимущественно к сити-фармингу. В рамках этого подхода рассматривают потоки основных ресурсов: воды, электрической и тепловой энергии, ОИ, питательных веществ. Для каждого компонента определяют эффективность использования ресурса (*resource use efficiency, RUE*). Разработан математический аппарат, который позволил выявить большую ресурсную эффективность сити-ферм по сравнению с традиционными теплицами [6].

Таким образом, на наших глазах зарождается новая парадигма светокультуры. Так, исследователи Вагенингенского университета (Нидерланды), работая в рамках программы «Het Nieuwe Telen» («Новое культивирование») заявляют о ее преобразующем влиянии на традиционную светокультуру. Цель программы заключается в том, что бы доказать возможность экономической эффективности тепличного производства при его климатической нейтральности (т.е. экологичности). Новая парадигма светокультуры означает управление урожайностью выращиваемых растений соответственно складывающимся рыночным условиям, оптимизацию эффективности использования ресурсов, снижение воздействия на окружающую среду в целях получения экологически чистой и ответственно произведенной продукции [7]. Основные принципы Het Nieuwe Telen включают прецизионное культивирование, климат-контроль и принятие решений на основе данных. Использование современных систем мониторинга позволяет отслеживать и регулировать параметры среды выращивания, внося целенаправленные вмешательства и корректировки. Интеграция научных знаний отдельных дисциплин (физиологии и защиты растений, генетики) позволяет повысить устойчивость сельскохозяйственных культур, минимизировать заболеваемость и максимизировать качество продукции [8].

Светокультура является одним из видов оптических электротехнологий (ОЭТ). В них энергетическое действие ОИ используется для облучения животных, птицы, растений. Энергоемкость этих процессов весьма высока [9]. Анализ технологической схемы облучения позволяет добиться повышения энергетической эффективности ОЭТ [10]. Растущий в последние годы интерес к энергоэффективности технологических процессов, в том числе ОЭТ, диктует необходимость учета вопросов экологичности [11]. Интенсивная хозяйственная деятельность человека и экономический рост приводит к серьезному увеличению загрязнения окружающей среды. Воздействие человека на экосистему проявляется в том числе в активном потреблении энергии, что является причиной дополнительного загрязнения окружающей среды [12].

Вопросам энергосбережения и экологии в различных областях научной и практической деятельности, а так же их взаимосвязи, всегда уделялось большое внимание в работах отечественных и зарубежных исследователей. К настоящему времени созданы инструментариум для оценки влияния проектов энергосбережения на окружающую среду, что позволяет провести сравнительный анализ экологической нагрузки производств на окружающую среду и определить мультипликативный эффект от реализации энергосберегаю-

щих проектов [13]. Большое внимание уделяется разработке технических решений сооружений для производства растениеводческой продукции, обеспечивающих как энергетическую эффективность их функционирования, так и качество получаемой продукции [14].

Объект исследования – научная деятельность и факторы научной продуктивности специализированной лаборатории ЭЭС института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП). **Цель работы** – раскрыть плодотворность парадигмы энергоэкологического подхода к светокультуре в получении научного знания на стыке соответствующих предметных областей в научной деятельности лаборатории ЭЭС.

История лаборатории. Научная школа ИАЭП имеет богатую традицию работы в этих областях [15]. Еще в 1948 году в Ленинградском филиале ВИЭСХ, вошедшем затем в Северо-Западный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, была создана лаборатория применения электроэнергии в сельском хозяйстве (ПЭЭСХ). С 1958 по 1963 год лаборатория входила в состав отдела электрификации сельского хозяйства Северо-Западного отделения Всероссийского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (СЗО ВНИИМЭСХ). При преобразовании последнего в Научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Северо-Запада (НИИМЭСХ СЗ) лаборатория была выделена в самостоятельную структурную единицу.

После 1962 года, наряду с бюджетной тематикой, лаборатория ПЭЭСХ выполняла большой объем хозяйственных работ с Агропроминформ Госагропрома СССР, ЦЭКТБ "Промтеплица" Госкомсельхозтехники СССР, Минприбором, Минэлектронпромом, Мингазпромом по созданию микропроцессорных систем управления, комплексов и технологического оборудования для автоматизации теплиц и оптимизации технологических процессов в овощеводстве защищенного грунта. При лаборатории была построена зимняя теплица, которая служила универсальным экспериментальным полигоном для проведения поисковых исследований по вопросам автоматизации технологических процессов в овощеводстве защищенного грунта. В составе лаборатории была создана группа моделирования технологических процессов сельскохозяйственного производства.

К концу 90-х годов лаборатория продолжала исследования по энергоресурсосбережению в овощеводстве защищенного грунта на основе автоматизации технологических процессов, рационального использования возобновляемых источников в сочетании с традиционными видами энергии.

Созданная за многие годы материально-техническая база и накопленный научный потенциал позволили научным сотрудникам лаборатории на достаточно высоком уровне решать сложные научно-технические задачи и способствовать успешной работе тепличной отрасли [16]. Так, исследования профессора В.Н. Карпова заложили методическую основу анализа искусственной энергетической системы (ИЭС), каковой является культивационное сооружение. Пожалуй, впервые в сельскохозяйственной энергетике изучению подверглось не устройство оборудования и принципы его действия (традиционный подход в средне-специальном и высшем техническом образовании), а достигнутая степень и возможные перспективы энергоэффективности энерготехнологических процессов (ЭТП) [17]. А. Ф. Эрк предложил для выбора источника энергоснабжения путем минимизации полученных вариантов использовать единый критерий, учитывающий как экономическую, так и экологическую составляющие при определении общего эффекта. Введенный им в практику коэффициент энергоэкологичности определяется как произведение стоимости полученной энергии на объем удельных выбросов загрязняющих веществ [18]. В работах В. И. Бровцина с соавторами предложены методы анализа энергоэффективности сельскохозяйственных предприятий и прогноза их энергопотребления [19]. Труды В. Н. Судаченко посвящены как общим вопросам развития светокультуры, так и частным приемам совершенствования технологии выращивания овощей защищенного грунта [20].

В последнее время в ИАЭП большое внимание уделяется вопросам управления экологической безопасностью агроэкосистем, разрабатываются экологически безопасные, ресурсосберегающие технологии и технические средства, методы экологической оценки агроэкосистем, основанные на эффективном использовании энергетических, водных и других ресурсов [21, 22].

В 2016 г. функционирующая в течение многих лет лаборатория ПЭЭСХ была трансформирована в лабораторию энергоэкологии светокультуры (ЛЭЭС), работы которой стали естественным продолжением и важной частью исследований, проводимых в ИАЭП [23]. Цель организации лаборатории – проведение научных исследований, теоретическая разработка и практическое внедрение инновационных ОЭТ. Первоочередными задачами деятельности лаборатории стали оптимизация параметров технологического процесса облучения (ТПО) растений в искусственных условиях, повышение продуктивности выращиваемых культур, снижение энергоемкости, обеспечение экологических решений.

Материалы и методы. Работа выполнена на основе анализа публикаций ЛЭЭС в открытой печати, внутренних материалов с использованием исторических и аналитических методов, а так же методов наукометрии. Хронологическими рамками данного исследования являются 2012 – 2022 гг. Начало этого десятилетнего периода совпадает с приходом в институт на должность заведующего лабораторией автора данной статьи, окончание – с реформированием структуры института. При анализе научной активности лаборатории в рамках общей парадигмы энергоэкологического подхода выделено восемь основных направлений исследований.

Наукометрические исследования проводили с использованием баз данных информационно-аналитического портала eLibrary по состоянию на октябрь 2023 г. По каждому анализируемому году сформировали общий список сотрудников, внесенных в базы данных eLibrary и аффилированных с институтом. Для каждого сотрудника из полученного списка вычисляли его авторские доли в публикациях, в которых он участвовал. По сумме всех долей определяли публикационную активность лаборатории и ИАЭП в целом в текущем году. При анализе учитывали привязанные патенты, статьи в журналах и сборниках, включенные в РИНЦ, в которых сотрудник выступал в роли автора.

Результаты и обсуждение. Анализ литературных источников, результатов диссертационных исследований по затрагиваемому кругу проблем показал, что в светокультуре как разновидности ИБЭС комплексный подход к описанию протекающих на ее различных уровнях иерархии биологических, химических, физических процессов, физиологических и генетических механизмов регуляции роста и развития растений реализован недостаточно.

Для перехода на новую парадигму светокультуры необходимо рассмотрение фундаментальных закономерностей процессов переноса субстанции (вещества и энергии) в ИБЭС. Повышение энергоэкологичности светокультуры подразумевает снижения энергоемкости и степени воздействия на окружающую среду технологических процессов в культивационных сооружениях в ИБЭС. Такой новый парадигмальный подход позволит создать частные методики анализа и синтеза технологии светокультуры.

В светокультуре даже малое воздействие излучением в физиологически активных спектральных диапазонах, позволяющее добиться *энергоэффективности* в применении этой ОЭТ, влияет на рост и развитие растений. Такое фотонное управление дает возможность использовать тонкие квантовые эффекты взаимодействия ОИ с биообъектами. Системный подход с учетом современных методов биофотоники позволяет управлять светокulturой на ее отдельных иерархических уровнях с целью повышения *экологичности* выращиваемой продукции. Комплексный подход к оптимизации светокультуры с точки зрения повышения как энергоэффективности, так и экологичности является сутью *энергоэкологии* светокультуры как научного направления. Использование такого подхода является современной междисциплинарной тенденцией [24].

Существует и достаточно широко распространена точка зрения, что термин «*экология*» и другие связанные с ним понятия относятся исключительно к исследованию качества окружающей среды. Такой подход, называемый так же «природоохранный» или «загрязняюще-ресурсный», основан прежде всего на учете ПДК загрязняющих веществ и актуален при оценке экологической устойчивости и безопасности [25]. В международной практике наука об изучении окружающей среды и ее состояния называется «*environmental sciences*». Вторым подходом к термину «*экология*» является учет структуры, направленности и интенсивности потоков субстанции в экосистеме, при котором становится возможность выявить лимитирующие факторы получения органического вещества как первичной продукции фотосинтеза. Международным термином для этой области знания является «*ecology*», обозначающий экологию как классическую биологическую науку [26].

ЭЭС предложено считать междисциплинарную область научного знания, находящуюся на стыке естественных, технических и биологических наук, так и как инженерная экология, экофизиология растений, традиционная светокультура. В рамках парадигмы энергоэкологического подхода объектом исследований ЭЭС как отдельного научного направления является ИБЭС культивационного сооружения и включающая, наряду с техническими, биологические объекты (растения). Предмет исследований – закономерности формирования, преобразования и использования потоков вещества и энергии в ИБЭС, рассматриваемые в рамках иерархической информационной модели, учитывающей параметры технических и биологических объектов, а критерием оптимизации процессов является энергоэкологичность.

Таблица – Научные работы, выполненные в ЛЭЭС по госзаданию
Table – Scientific studies carried out at EEN laboratory under government orders

Год / Year	Название темы госзадания / Title of the topic of the state assignment
2012	Теоретические основы энергетического анализа технологического процесса облучения растений и методика оперативной оценки энергоэффективности потока оптического излучения в условиях интенсивной светокультуры / Theoretical foundations of Energy Analysis of the technological Process of Plant Irradiation and the method of operational assessment of the energy efficiency of the optical radiation flux under conditions of intensive light culture
2013	Математическая модель параметров поля светодиодных излучателей в интенсивной светокультуре сооружений защищенного грунта / Mathematical model of led emitters' field parameters in intensive light culture of protected ground structures
2014	Закономерности распределения потоков энергии при использовании оптического излучения в светокультуре / Regularities of energy flux distribution in the use of optical radiation in light culture
2015	Математическая модель баланса потоков вещества и энергии при использовании оптического излучения в искусственной биоэнергетической системе культивационного сооружения / Mathematical model of the balance of matter and energy flows in the use of optical radiation in an artificial bioenergetic system of a cultivation facility
2016	Математическая модель энергоэффективности светокультуры овощной продукции в искусственной биоэнергетической системе культивационного сооружения / Mathematical model of energy efficiency of light culture of vegetable products in an artificial bioenergetic system of a cultivation facility
2017	Методика интегральной оценки энергоэкологичности светокультуры по флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков для овощных культур / Methodology for integral assessment of energy ecology of light culture by fluctuating asymmetry of bilateral traits for vegetable crops
2018	Математическая модель зависимости показателей энергоэкологичности светокультуры для различных условий световой среды / Mathematical model of the dependence of indicators of energy ecology of light culture for different conditions of the light environment
2019	Научные основы и метод оценки спектрального состава источников излучения для повышения энергоэффективности и экологичности светокультуры / scientific basis and method for estimating the spectral composition of radiation sources to improve energy efficiency and environmental friendliness of light culture
2020	Метод оценки качества облучения по содержанию пигментов в листе растения и устройство для его реализации / A method for assessing the quality of irradiation by the content of pigments in a plant leaf and a device for its implementation
2021	Цифровая модель растения и средства контроля энергоэкологичности в светокультуре / Digital plant model and means of controlling energy ecology in light culture
2022	Методы и средства биоиндикационной оценки состояния агроэкосистем в растениеводстве / Methods and means of bioindication assessment of the state of agroecosystems in crop production

В процессе функционирования ЛЭЭС на различных этапах перед ней ставился широкий круг задач. В течение анализируемого периода времени перечень выполненных в лаборатории по госзаданию тем приведен в таблице.

При наукометрическом анализе выделено восемь направлений, по которым наблюдалась наибольшая публикационная активность лаборатории: I. Энергосбережение и энергоэффективность тепличных облучательных установок и АПК в целом; II. Фитооблучатели

и тепличные облучательные установки; III. Приборное обеспечение. Метрология; IV. Профессионально-ориентированная технология обучения энергосбережению; V. Экспериментальная светокультура; VI. Свойства растений как элементов экосистемы. Стабильность развития. Биоиндикация; VII. Прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах. Искусственная биоэнергетическая система; VIII. Энергоэкология светокультуры. Энергоэкологичность. Энергоэкоаудит.

Широкий диапазон поставленных задач predetermined выбор методов исследований. Теоретические исследования велись путем моделирования характеристик растений, технических и технологических средств как структурных элементов ИБЭС. Экспериментальные исследования проводили в лабораторных условиях с проверкой результатов на производстве.

Энергосбережение считается одной из важнейших отраслевых проблем в АПК [27]. Ее решению, особенно в сельскохозяйственных ИБЭС, в тематике научных исследований ЛЭЭС всегда уделялось большое внимание. Процесс преобразования энергии предложено моделировать с помощью типовых виртуальных энергетических блоков (ВЭБ), совокупность которых образует ТПО. Оценка эффективности преобразования энергии на каждом этапе производится по единому критерию – энергоёмкости.

Известно, что особенности протекания процессов в живых организмах под воздействием ОИ predetermined невысокую эффективность использования энергии [28]. Разработаны методики энергетического анализа для типовых ВЭБ и ТПО в целом, что позволяет численно определить эффективность различных энергосберегающих мероприятий (ЭСМ) (Ракутько С. А., Ракутько Е. Н. Моделирование и численный анализ энергоэкологичности светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. № 3. С. 11-17).

В лаборатории создан ряд облучателей, обеспечивающих растения потоком ОИ необходимого качества. Так, разработан светодиодный корректор спектра, дополняющий излучения натриевых ламп в дефицитных диапазонах спектра (Пат. РФ №2725003, опубл. 29.06.2020). Созданный корректор апробирован в промышленной теплице при выращивании томата (рисунок 1).



Рисунок 1 – Испытания гибридной облучательной установки в теплице Межвиди (Латвия)
Figure 1 – Tests of a hybrid irradiation installation in the Mezhhvidi greenhouse (Latvia)

Экспериментально подтверждено, что применение такой гибридной облучательной установки улучшает биометрические параметры растений, что приводит к большей урожайности и повышенным вкусовым качествам (Ракутько С. А., Ракутько Е. Н., Аюпов М. Р. Применение комбинированного облучения в светокультуре // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. № 2. С. 46-52).

Внедрение новейших информационных автоматизированных систем управления на основе оперативно получаемой информации о состоянии выращиваемых растений является важной составной частью ЭСМ [29]. Разработка метрологической базы всегда являлась акту-

альным направлением работ ЛЭЭС. Создан ряд портативных приборов для определения оптических свойств листа, частности, измеритель цвета (Пат. РФ №207344, опубл. 11.05.2021) и листовой фотоколориметр (Пат. РФ №199305, опубл. 26.08.2020) (рисунок 2). Оптическая схема измерителя цвета позволяет по отдельности измерять отражающие свойства листа растения при его освещении белым светом в синем, зеленом и красном диапазонах.



Рисунок 2 – Измеритель цвета (слева) и листовой фотоколориметр (справа)
Figure 2 – Color meter (left) and leaf photocolorimeter (right)

Известно, что пигментный состав растений не только влияет на количество поглощенного листом излучения, но и определяет оптические свойства листа, свидетельствующие о функциональном состоянии растения [30]. В листовом фотоколориметре с помощью светодиодов, излучающих в различных диапазонах длин волн, формируют поток излучения, падающий на лист растения. Величину пропущенного потока измеряют неселективным приемником. Найденные значения коэффициентов отражения и пропускания выводят на индикатор, записывают на SD карту, а так же могут быть переданы по Bluetooth на внешние устройства. Приборы работают под управлением Arduino (Ракутько С. А., Ракутько Е. Н., Васькин А. Н. Листовой фотоколориметр – устройство для измерения оптических свойств листьев растений // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2020. № 1 (34). С. 15-24).

Из других разработок лаборатории в области приборного обеспечения и метрологии следует отметить комплекс технических и программных средств для измерения параметров источников света, методику их аттестации, установку для фотометрирования кроны растений (Пат. РФ 219511, опубл. 21.07.2023), метод оценки полезности и анализатор качества спектра (Пат. РФ №160900, опубл. 10.04.2016) потока ОИ в светокультуре, рабочее место для проведения экспериментов по фотобиологии растений и ряд других технических решений.

Апробация разработанных приборов показала широкие возможности их применения как в практике светокультуры, так и в экологическом мониторинге агроэкосистем.

В 2012 г при лаборатории был организован филиал кафедры Систем инженерного проектирования и энергообеспечения, входящей в состав института технических систем, сервиса и энергетики СПбГАУ. На занятиях со студентами и аспирантами свое широкое развитие получили идеи проф. В. Н. Карпова о необходимости особого внимания к анализу энергетики сельскохозяйственных электротехнологий. Важнейшим научным результатом, полученным в этой области, явилось обоснование необходимости выделения компетентности принятия энергосберегающих проектных решений (ПЭПР-к). Становление каждого компонента ПЭПР – компетентности (мотивационно-ценностного, когнитивного, деятельностного, рефлексивно-оценочного) связано с формированием его характеристик и свойств как части целостной системы. Методы категориального анализа и синтеза позволили обосновать феноменологию ПЭПР-к агроинженера (рисунок 3).

Предложен подход к формированию ПЭПР-компетентности средствами группового проектного творческого обучения. Предложен и апробирован способ обучения энергосбережению (заявка 2013146344/12, опубл. 2015.04.27) и способ оценки эффективности процесса обучения (заявка 2011152094/12, опубл. 2013.06.27).

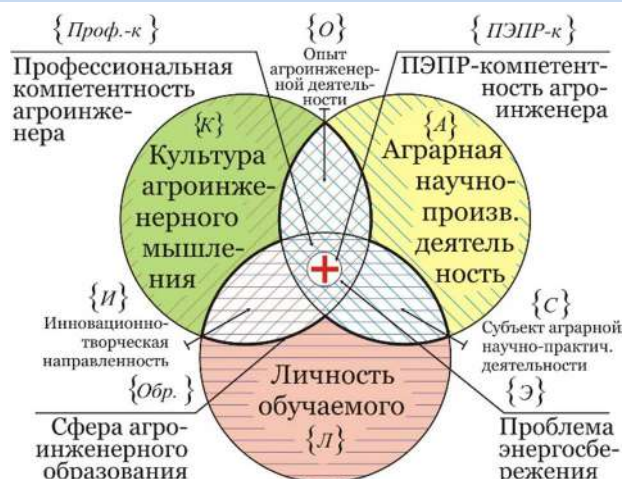


Рисунок 3 – Терминологическое пространство понятия ПЭПР – компетентности
Figure 3 – Terminological space of the concept of PEPR – competence

Способ обучения осуществляется с помощью предложенной информационной системы обучения энергосбережению (ИСОЭ). Его методической основой является разработанная профессионально ориентированная технология обучения энергосбережению (ПОТОЭ) (Rakutko S.A. Some experience in energy saving training within agricultural engineering education. В сборнике: *Engineering for Rural Development. Ser. "13th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development – Proceedings"* 2014. С. 577-582).

Результаты апробированы в ряде вузах страны (Дальневосточный ГАУ, Мордовский ГУ, Мурманский ГУ), на курсах повышения квалификации "Обучение в области энергосбережения и энергетической эффективности", г. Уфа, 2013 г.

Важной составляющей экспериментальных исследований, проводимых в лаборатории, является определение сравнительной эффективности применения источников излучения различных типов (люминесцентные, натриевые, индукционные лампы, светодиоды различного спектрального состава) при выращивании рассады томата (*Solanum Lycopersicum*), огурца (*Cucumis Sativus*) и ряда других культур. Изучено влияние спектрального состава на выгонку листьев петрушки (*Petroselinum Tuberosum*). Изучено влияние параметров световой среды на пигментный состав листа растения. Исследовали зависимость биометрических показателей салата (*Lactuca Sativa L.*) от уровня облученности и фотопериода. Изучено влияние спектрального состава излучения на энергоэффективность продукционного процесса растений в светокультуре. Уточнены пределы действия проявления закона взаимозаместимости (Бунзена-Роско) в светокультуре.

Математическое моделирование растений является непременным элементом экспериментов по светокультуре, проводимых в лаборатории. Изучена пространственная структура кроны растений, создана натурная модель растения (Пат. РФ №215539, опубл. 16.12.2022). От изучения отдельных показателей растения при действии на них ограниченного количества факторов, лаборатория вплотную подошла к созданию цифрового двойника (*digital twin*) растения как виртуального объекта, отображающего реальное растение в физическом пространстве (Ракутько Е. Н., Ракутько С. А., Мишанов А. П., Маркова А. Е. Цифровой двойник растения в светокультуре на примере перца (*Capsicum Annuum L.*) в рассадный период // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 3 (108). С. 13-33).

Интересные результаты были получены при исследовании филлотаксиса (расположения листьев на стебле), являющегося важной морфологической характеристикой растения. Для растений перца показано, что отклонение параметров филлотаксиса может являться важным показателем при оценке влияния факторов внешней (в том числе световой) среды на растения.

Наряду со стандартными параметрами растений, традиционно измеряемых исследователями в светокультуре, в лаборатории впервые был использован подход, хорошо рекомендовавший себя при биоиндикации агроэкосистем на листьях древесных растений –

определение стабильности развития растений по флуктуирующей асимметрии (ФА) билатеральных признаков (БП). Это подход широко развит для геометрических БП морфологических структур растений [31]. Исследования, проведенные в лаборатории, показали возможность включения в состав БП оптических признаков (оптическая плотность, цвет участка поверхности, его спектральные коэффициенты отражения и т.д.), что позволяет проводить биоиндикацию окружающей среды неразрушающим способом.

Выявлена взаимосвязь ФА и продуктивности ряда растений в зависимости от параметров световой среды, что позволяет принять этот показатель как критерий оценки качества облучения в светокультуре, ее эффективности и экологичности. На ряде частных случаев экспериментально показано, что меньшим значениям ФА (большей стабильности развития растений) соответствует большая эффективность светокультуры. Предложено использовать данные о стабильности развития растений в условиях светокультуры для комплексной оценки качества световой среды, создаваемой источниками излучения, что позволяет оптимизировать выбор последних (Пат. РФ №2724546, опубл. 23.06.2020).

Разработан способ определения стабильности развития (Пат. РФ № 2752953, опубл. 11.08.2023), основанный на оценке ФА вегетационных индексов, вычисляемых для точек поверхности листа, характеризующихся одинаковыми условиями расположения относительно границы его левой и правой половин на основе данных, получаемых гиперспектральной камерой.

Использование приемов морфо-цветометрии, дополненных математическим методом анализа главных компонент позволило разработать методику биоиндикационной оценки состояния агроэкосистемы в органическом производстве растениеводческой продукции.

На основе разработанных частных методик в ЛЭЭС создана феноменологическая прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах (ПТЭЭТП). Предложена концепция ИБЭС и ее иерархическая информационная модель (Пат. РФ № 2562421, опубл. 10.09.2015), учитывающую потоки субстанции в системе.

В ранних работах лаборатории вопросы экологии рассматривались сопутствующими энергосбережению как фактору экологической безопасности. Они основывались на констатации положения, что экологичность технологического процесса прямо связана с его энергоэффективностью. В дальнейшем был предложен ряд частных моделей энергоэкологичности (упрощенная, мультипликативная, совокупная, дифференциальная, многомерная), в рамках каждой из них дана своя интерпретация данному понятию, которой соответствует свой способ ее контроля (Ракутько Е. Н., Васькин А. Н., Мишанов А. П., Маркова А. Е. Модели, методы и средства контроля энергоэкологичности в светокультуре: аналитический обзор // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. №1 (106). С. 25-50.).

Достигнутый уровень теоретических воззрений позволил по новому подойти к практическим приемам осуществления ЭСМ в светокультуре.

На основе одной из частных моделей предложен способ энергоэкоаудита (комплексного энергоэкологического обследования) светокультуры (рисунок 4). При его проведении фиксируют параметры светокультуры, динамику изменения фотонной облученности, дозы фотонного потока ОИ и содержания сухого вещества. Об уровне энергоэкологичности светокультуры судят по форме кривой годографа, построенного в координатах приращений массы сухого вещества, накопленного в листьях растения и дозы фотонного потока ОИ, потребленной растением в течение периода выращивания (Пат. РФ № 2645975, опубл. 28.02.2018). Результатом исследований ЛЭЭС в этом направлении стала концепция наилучших доступных технологий светокультуры (НДТС).

Разработки лаборатории демонстрировались на ВДНХ «Золотая Осень» (г. Москва): «Анализатор качества спектра потока оптического излучения в светокультуре», 2016 г; «Система управления энергоэкологичностью светокультуры», 2017 г; «Способ энергоэкоаудита светокультуры», 2018 г, а так же на выставках «АгроРусь» (г. Санкт-Петербург): «Научные основы и технические решения энергоэкологии светокультуры», 2016 г; «Экономичный фитосветильник для выращивания экологически чистой зелени и рассады», 2017 г; «Светодиодный корректор спектра для энергоэкологичной системы комбинированного облучения растений», 2018 г; «Тест-система энергоэкологичности светокультуры», 2019 г; «Листовой фотокolorиметр», 2021 г; «Измеритель цвета», 2022; «Энергоэкологичная адаптивная система тепличного облучения», 2023 г.



Рисунок 4 – Проведение энергоаудита светокультуры в тепличном комбинате
Figure 4 – Conducting an energy and environmental audit of light culture in a greenhouse plant

Наиболее интересные результаты докладывались и обсуждались на научных конференциях Lux Pacifica; CIOSTA; Инновационные технологии в науке и образовании (ИТ-НО); Агроинфо; Engineering for Rural Development, Латвия; Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики, Саранск; на вузовских конференциях Брянского ГАУ, Мурманского ГТУ, Санкт-Петербургского ГАУ и многих других.

Совместно с Ботаническим институтом РАН лаборатория участвовала в онлайн экспозиции России – страны Почетного гостя CIEP2020 с научно-техническим проектом «Создание платформы фенотипирования растений на основе искусственного интеллекта и цифровых технологий». По итогам мероприятий получено Благодарственное письмо от Международного союза приборостроителей и специалистов по информационным и телекоммуникационным технологиям. Подписано соглашение о совместной научной деятельности в области тепличного растениеводства с Синцзянской академией наук (г. Урумчи, КНР).

На базе Рижского технического университета, г. Рига, в кооперации с Латвийским сельскохозяйственным университетом, г. Елгава, сотрудники лаборатории вели работу по европейскому гранту «New control methods for energy and ecological efficiency increase of greenhouse plant lighting systems (uMOL)», Grant Agreement Nr. 1.1.1.1/16/A/261.

Производственные эксперименты проводили в теплицах агрохолдинга «Выборжец», Санкт-Петербург; тепличном комплексе «Круглый год», Пикалево; в лаборатории аэропного выращивания картофеля ГАУ НПЦ «Моссепродтехкартофель», г. Москва; в тепличном комбинате «Межвиди», ООО «Latgales Darzenu Logistika», Латвия. Научные разработки лаборатории внедрены на ряде отечественных предприятий: НПО «ПсковАгроИнновации»: ООО «Тенко»; ООО «ЦентрРегионСервис».

На рисунке 5 показана динамика количества публикаций ЛЭЭС по их видам. Анализ графиков говорит о стабильной публикационной активности коллектива лаборатории. Максимальные значения показатели приобретают в 2015-2017 гг. Такое экстенсивное увеличение можно объяснить зарождением и формированием новой парадигмы энергоэкологического подхода. По видам публикации (средние значения за весь период) основную долю занимают статьи в научных журналах (55%), статьи в сборниках (33%) и, наконец, патенты (13%). Видно перераспределение направления усилий лаборатории: если в начальный период количество публикаций в сборниках стабильно превышало их количество в журналах, то в дальнейшем журнальные публикации стали превалировать (до 70% от общего количества за год). Права на РИД (патенты, полезные модели, программы на ЭВМ и базы данных) оформлялись в среднем на 2,6 единиц научной продукции в год.

Сопоставление преобладающего количества публикаций из отдельных направлений исследований с темой госзадания показывает, что не всегда имеется корреляция. Это говорит о том, что в лаборатории традиционно велика доля поисковых исследований, проводимых параллельно с утвержденной темой календарного года.

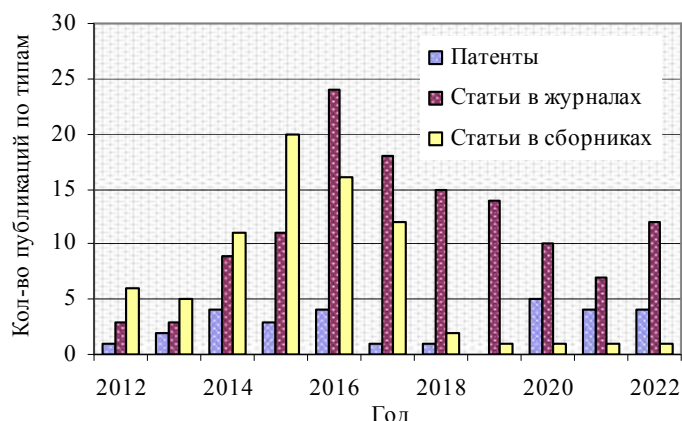


Рисунок 5 – Динамика количества публикаций ЛЭЭС по их видам
Figure 5 – Dynamics of the number of EEN laboratory's publications by their types

На рисунке 6 представлено перераспределение доли количества публикаций ЛЭЭС между отдельными направлениями исследований по годам анализируемого периода (от общего количества публикаций в текущем году).

Анализ динамики показывает, что в различные годы фокус научной деятельности лаборатории смещался на различные научные направления. Так, в течение всего анализируемого периода вопросы, посвященные энергосбережению и энергоэффективности тепличных облучательных установок и АПК в целом, расчету и конструированию фитооблучателей и тепличных облучательных установок, приборному обеспечению и метрологии занимают относительно небольшую, но стабильную долю (в целом 25% по направлениям I – III). Вопросы обучения энергосбережению (направление IV) после 2015 г. не представлены в публикациях лаборатории. Экспериментальные исследования по светокультуре (направление V) начиная с 2015 г., с формированием материально-технической базы, стабильно занимают существенную долю в публикационной активности. Начиная с 2016 г., в трудах лаборатории начинают появляться публикации по вопросам стабильности развития растений в агроэкосистеме и биоиндикации (направление VI). Сначала в рамках поисковых работ, а с 2017 г. и по госзаданию, это направление находит все большее отражение в публикационной активности лаборатории, выходя на первое место.

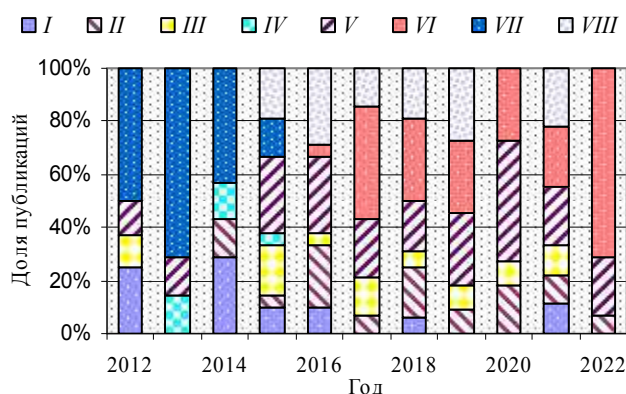


Рисунок 6 – Динамика доли количества публикаций ЛЭЭС по отдельным направлениям исследований
Figure 6 – Dynamics of the share of the number of EEN laboratory's publications in certain areas of research

Одновременно наблюдается спад публикационной активности по направлению теоретическим вопросам энергосбережения в ЭТП (направление VII). Если в начале анализируемого периода доля таких работ составляла 40-50%, то после 2017 г. публикаций по этой тематике практически нет. Начало публикационной активности по вопросам энергоэкологичности и энергоэкоаудита (направление VIII) привязано к 2015 г., когда в основных чертах была сформулирована парадигма энергоэкологического подхода в светокультуре. В дальнейшем около 20% публикаций посвящено этим вопросам.

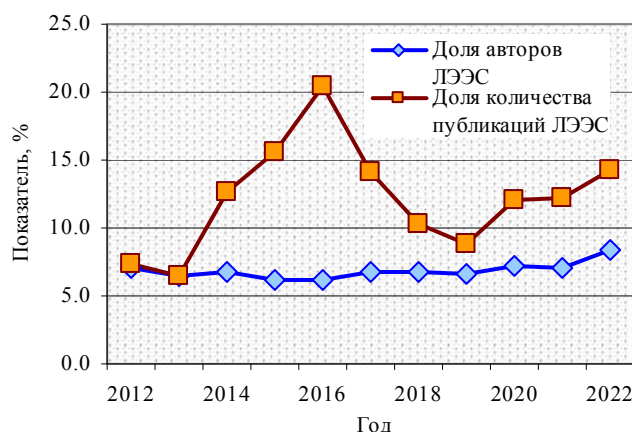


Рисунок 7 – Динамика доли авторов и количества публикаций ЛЭЭС
Figure 7 – Dynamics of the fraction of authors and the number of publications by EEN laboratory

На рисунке 7 показана динамика доли количества авторов – сотрудников ЛЭЭС и доли произведенной ими научной продукции (публикаций) в сравнении с показателями по ИАЭП в целом.

За анализируемый период количество публикующихся сотрудников в ЛЭЭС (в среднем 4 научных сотрудника) и ИАЭП (в среднем около 58 сотрудников) было довольно постоянным, т.е. доля авторов ЛЭЭС от ИАЭП в целом составляла в среднем 6,8%. Количество же публикаций, приходящихся на лабораторию, в отдельные годы существенно превышает эту долю. Максимум составляет 20% в 2016 г., в среднем за анализируемый период этот показатель составляет 12,2%. Можно констатировать, что плодотворная концепция энергоэкологического подхода к светокультуре позволила не только сделать существенный вклад своей научной составляющей, но и обеспечить опережающие публикационные показатели научного коллектива лаборатории.

Закключение. Таким образом, ИАЭП сыграл важную роль в формировании и развитии ЭЭС как научного направления, предоставляя платформу для проведения исследований. Организация специализированной лаборатории ЭЭС как научного и экспертного центра явилось адекватным ответом руководства ИАЭП на современные вызовы по повышению энергоэффективности и экологичности в тепличной отрасли. Выявлено, что научная школа института имеет богатую традицию работы в этих областях. Созданная за многие годы материально-техническая база и накопленный научный потенциал позволяет лаборатории на достаточно высоком уровне решать сложные научно-производственные задачи в области светокультуры.

Научной основой тематики ЛЭЭС стала парадигма энергоэкологического подхода, при котором на первое место выходит управление энергоэкологичностью светокультуры путем оптимизации параметров ТПО растений в искусственных условиях, повышение продуктивности выращиваемых культур, снижения энергоемкости, обеспечение экологических решений. Объектом исследований ЭЭС как отдельного научного направления является ИБЭС, предмет исследований – закономерности формирования, преобразования и использования потоков вещества и энергии в ИБЭС. Конечным выходом исследований является создание НДТС.

Выявлено, что основными научными направлениями ЛЭЭС являются: I. Энергосбережение и энергоэффективность тепличных облучательных установок и АПК в целом; II. Фитооблучатели и тепличные облучательные установки; III. Приборное обеспечение, метрология; IV. Профессионально-ориентированная технология обучения энергосбережению; V. Экспериментальная светокультура; VI. Свойства растений как элементов экосистемы, стабильность развития, биоиндикация; VII. Прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах, искусственная биоэнергетическая система; VIII. Энергоэкология светокультуры, энергоэкологичность, энергоэкоаудит.

Наукометрический анализ публикационной активности показал, что лаборатория ЭЭС по публикационной активности занимает заметное положение среди других научных подразделений института. Ее роль в формировании научного имиджа института весьма значительна. В последнее время основным местом публикации результатов исследований (до 70%) являются рейтинговые научные журналы. Плодотворная концепция энергоэкологического подхода к све-

токультуре позволила не только сделать существенный вклад своей научной составляющей, но и обеспечить опережающие публикационные показатели научного коллектива лаборатории. За десятилетие работы в этом направлении сотрудниками лаборатории опубликовано более 200 научных работ, получено 29 патентов на изобретения и полезные модели, результаты практических разработок удостоины 11 золотых медалей на выставках ВДНХ и АгроРусь.

Conclusions. Thus, the IEEP played an important role in the formation and development of EEH as a scientific direction, providing a platform for research. The organization of a specialized EPH laboratory as a scientific and expert center was an adequate response of the IEEP management to modern challenges in increasing energy efficiency and environmental friendliness in the greenhouse industry. It was revealed that the scientific school of the institute has a rich tradition of work in these areas. The material and technical base created over many years and the accumulated scientific potential allows the laboratory to solve complex scientific and production problems in the field of horticulture at a fairly high level.

The scientific basis for the topic of EEH laboratory has become the paradigm of the energy-ecological approach, in which the first place comes to the management of the energy-ecological friendliness of light crops by optimizing the parameters of plant TPO in artificial conditions, increasing the productivity of cultivated crops, reducing energy intensity, and providing environmentally friendly solutions. The object of research on EEH as a separate scientific direction is IBES, the subject of research is the patterns of formation, transformation and use of matter and energy flows in IBES. The final outcome of the research is the creation of BATs of horticulture.

The main scientific directions of EES laboratory are: I. Energy saving and efficiency; II. The designing of phytoirradiators, greenhouse irradiation installations; III. Instrumentation and metrological practices; IV. Developing a teaching technology of energy saving for professionals; V. Setting up special experiments in greenhouse horticulture; VI. Identifying the properties of plants as elements of an ecosystem, their developmental stability, bioindication issues; VII. Applied theory of energy saving, artificial bioenergy system; VIII. Energy and eco-friendliness of greenhouse horticulture, energy and ecological auditing.

A scientometric analysis of publication activity showed that the EEH laboratory occupies a prominent position among other scientific departments of the institute in terms of publication activity. Its role in shaping the scientific image of the institute is very significant. Recently, the main place for publishing research results (up to 70%) are ranking scientific journals. The fruitful concept of the energy-ecological approach to horticulture allowed not only to make a significant contribution from its scientific component, but also to ensure leading publication indicators for the laboratory's scientific team. Over the decade of work in this direction, the laboratory staff published more than 200 scientific papers, received 29 patents for inventions and utility models, the results of practical developments were awarded 11 gold medals at the VDNKh and AgroRus exhibitions.

Библиографический список

1. Janick J. The origins of horticultural technology and science. *Acta Hort.* 2007. V. 759. Pp. 41-60.
2. Bailey L. H. The standard cyclopedia of horticulture. New York, Macmillan. 1914.
3. Кун Т. Структура научных революций. М.: АСТ, 2020. 341 с.
4. Wheeler R. M. A Historical Background of Plant Lighting: An Introduction to the Workshop. *Hortscience*. 2008. V. 43 (7). Pp. 1942-1943.
5. Будаговский А. В., Будаговская О. Н. Краткая история агрофотоники. *Наука и Образование*. 2021. Т. 4. № 3.
6. Kozai T., Niu G. Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Amsterdam: Academic Press, 2020. Pp. 93-115.
7. Het Nieuwe Telen. <https://www.kasalsenergiebron.nl/besparen/het-nieuwe-telen>.
8. Полякова М. Новая парадигма культивирования: садоводство переходит от «зеленых пальцев» к науке. 15 июня 2023. <https://greenhouse.news/the-new-cultivation-paradigm-horticulture-shifts-from-green-fingers-to-science>.
9. Ovchukova S. A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Yu. Energy Saving in Lighting Technologies of Agricultural Production. *Light & Engineering*. 2021. No 29 (2). Pp. 21–25.
10. Долгих П. П. Обоснование применения технологической схемы облучения с разделением энергетических потоков в светокультуре промышленных теплиц. *Инженерные технологии и системы*. 2022. Т. 32. №4. С. 600-612.
11. Di Franco N., Jorizzo M. Efficiency, Energy Saving, and Rational Use of Energy: Different Terms for Different Policies. *Innovation in Energy Systems - New Technologies for Changing Paradigms*. 2019.
12. Giyasov B. The impact of energy-saving measures on the environment. *E3S Web of Conferences* 135(A):01024. ITESE-2019. 2019.
13. Plyaskina N. Energy-Saving Environmental Projects: approaches to evaluation and results of environmental impact. *Journal of Physics: Conference Series* 1261 012027. 2019.
14. Юдаев И. В., Попов М. Ю., Попова Р. В. Автономная теплица, функционирующая на возобновляемых энергоресурсах. *Вестник аграрной науки Дона*. 2020. № 1 (49). С. 33-42.

15. Попов В. Д. Северо-западному институту механизации и электрификации сельского хозяйства – 50 лет. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 3. С. 2-6.
16. Судаченко В. Н. Из истории лаборатории применения электроэнергии в сельском хозяйстве. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 1997. № 67. С. 92-95.
17. Карпов В. Н., Юлдашев З. Ш. Энергосбережение. Метод конечных отношений. Санкт-Петербург, 2010. 147 с.
18. Субботин И. А., Брюханов А. Ю., Тимофеев Е. В., Эрк А. Ф. Энергоэкологическая оценка использования различных генерирующих источников в сельском хозяйстве. Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 3. С. 366-382.
19. Бровцин В. Н., Папушин Э. А. Критерий энергоэффективности производства продукции для предприятий сельскохозяйственного назначения. Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 4 (14). С. 51-55.
20. Судаченко В. Н., Маркова А. Е., Колянова Т. В., Колянов Ю. Т. Основные положения концепции развития овощеводства защищенного грунта европейского севера России. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2004. № 76. С. 54-65.
21. Брюханов А. Ю., Попов В. Д., Васильев Э. В., Папушин Э. А. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем. АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4 (113). С. 4-18.
22. Брюханов А. Ю., Попов В. Д., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Уваров Р. А. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 48-55.
23. Ракутько С. А. Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 6. С. 38-44.
24. Белозеров Д. А. и др. Энергоэкология как основа устойчивого развития России: опыт, методология и перспективы: монография. Дубна: Государственный университет «Дубна», 2017. 202 с.
25. Карлин Л. Н., Музалевский А. А., Федоров М. П. Модифицированная модель природно-технической системы как элемент альтернативной стратегии охраны окружающей среды. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 36. С. 80-93.
26. Ecology vs. Environmental Science: What's the Difference? Maryville University. December 8, 2020. <https://online.maryville.edu/blog/ecology-vs-environmental-science>.
27. Свентицкий И. И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации: монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 468 с.
28. Zhu X. G., Long S. P., Ort D. R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. Annual review of plant biology. 2010. No 61. Pp. 235–261.
29. Силуянов И. Автоматизация для тепличного бизнеса. Автоматизация и производство. 2020. № 2 (51). С. 22-24.
30. Leaf Optical Properties. By Stephane Jacquemoud and Susan Ustin. Cambridge and New York: Cambridge University Press. 2019. 555 p.
31. Gubasheva B. E., Idrissova G. Z., Tumenov A. N., Miftakhov R. R. Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 417-427.

References

1. Janick J. The origins of horticultural technology and science. Acta Hort. 2007. V. 759. Pp. 41-60.
2. Bailey L. H. The standard cyclopedia of horticulture. New York, Macmillan. 1914.
3. Kuhn T. The structure of scientific revolutions. M.: AST, 2020. 341 p.
4. Wheeler R. M. A Historical Background of Plant Lighting: An Introduction to the Workshop. Hortscience. 2008. V. 43 (7). Pp. 1942-1943.
5. Budagovsky A. V., Budagovskaya O. N. A brief history of agrophotonics. Science and education. 2021. Vol. 4. No. 3.
6. Kozai T., Niu G. Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Amsterdam: Academic Press, 2020. Pp. 93-115.
7. Het Nieuwe Telen. <https://www.kasalsenergiebron.nl/besparen/het-nieuwe-telen>.
8. Polyakova M. New cultivation paradigm: gardening moves from “green fingers” to science. June 15, 2023. <https://greenhouse.news/the-new-cultivation-paradigm-horticulture-shifts-from-green-fingers-to-science>.
9. Ovchukova S. A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Yu. Energy Saving in Lighting Technologies of Agricultural Production. Light & Engineering. 2021. No 29 (2). Pp. 21–25.
10. Dolgikh P. P. Substantiation of the Application of the Technological Scheme of Irradiation with the Separation of Energy Flows in the Light Culture of Industrial Greenhouses. Engineering Technologies and Systems. 2022. T. 32. № 4. Pp. 600-612.
11. Di Franco N., Jorizzo M. Efficiency, Energy Saving, and Rational Use of Energy: Different Terms for Different Policies. Innovation in Energy Systems - New Technologies for Changing Paradigms. 2019.
12. Giyasov B. The impact of energy-saving measures on the environment. E3S Web of Conferences 135(A):01024. ITESE-2019. 2019.
13. Plyaskina N. Energy-Saving Environmental Projects: approaches to evaluation and results of environmental impact. Journal of Physics: Conference Series 1261 012027. 2019.
14. Yudaev I. V., Popov M. Yu., Popova R. V. Autonomous greenhouse operating on renewable energy resources. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2020. No. 1 (49). Pp. 33-42.
15. Popov V. D. North-West Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture is 50 years old. Mechanization and electrification of agriculture. 2012. № 3. Pp. 2-6.

16. Sudachenko V. N. From the History of the Laboratory of Electric Power Use in Agriculture. Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 1997. № 67. Pp. 92-95.
17. Karpov V. N., Yuldashev Z. Sh. Energy saving. Finite ratio method. St. Petersburg, 2010. 147 p.
18. Subbotin I. A., Bryukhanov A. Yu., Timofeev E. V., Erk A. F. Energoecological Assessment of the Use of Various Generating Sources in Agriculture. Engineering Technologies and Systems. 2019. T. 29. № 3. Pp. 366-382.
19. Brovtin V. N., Papushin E. A. Criterion for energy efficiency of production for agricultural enterprises. Innovations in agriculture. 2015. No. 4 (14). Pp. 51-55.
20. Sudachenko V. N., Markova A. E., Kolyanova T. V., Kolyanov Yu. T. Basic provisions of the concept for the development of vegetable growing in protected soil in the European north of Russia. Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 2004. No 76. Pp. 54-65.
21. Bryukhanov A. Yu., Popov V. D., Vasiliev E. V., Papushin E. A. The concept of managing the environmental safety of agroecosystems. AgroEcoEngineering. 2022. No 4 (113). Pp. 4-18.
22. Bryukhanov A. Yu., Popov V. D., Vasiliev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R. A. Analysis and solutions to environmental problems in livestock farming. Agricultural machines and technologies. 2021. V. 15. No. 4. Pp. 48-55.
23. Rakutko S. A. Conceptual foundations of energy ecology of light culture. Agricultural machines and technologies. 2018. V. 12. No. 6. Pp. 38-44.
24. Belozero D. A., et al. Energy ecology as the basis for sustainable development of Russia: experience, methodology and prospects: monograph. Dubna: State University "Dubna", 2017. 202 p.
25. Karlin L. N., Muzalevsky A. A., Fedorov M. P. A modified model of a natural-technical system as an element of an alternative strategy for environmental protection. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2014. No 36. Pp. 80-93.
26. Ecology vs. Environmental Science: What's the Difference? Maryville University. December 8, 2020. <https://online.maryville.edu/blog/ecology-vs-environmental-science>.
27. Sventitsky I.I. Energy saving in the agro-industrial complex and energy extremity of self-organization: monograph. M.: GNU VIESKh, 2007. 468 p.
28. Zhu X. G., Long S. P., Ort D. R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. Annual review of plant biology. 2010. No 61. Pp. 235-261.
29. Siluyanov I. Automation for the greenhouse business. Automation and production. 2020. No 2 (51). Pp. 22-24.
30. Leaf Optical Properties. By Stephane Jacquemoud and Susan Ustin. Cambridge and New York: Cambridge University Press. 2019. 555 p.
31. Gubasheva B. E., Idrissova G. Z., Tumenov A. N., Miftakhov R. R. Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species. RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2022. No 30 (1). Pp. 417-427.

Информация об авторе

Ракутько Сергей Анатольевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филитровское шоссе, д. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>, e-mail: sergej1964@yandex.ru

Autor's Information

Rakutko Sergey Anatolyevich, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IEEP) – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Center for Agricultural Production (Russian Federation, St. Petersburg, Tyarlevo village, Filitrovskoe shosse, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2454-4534>, e-mail: sergej1964@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-41

RESULTS OF THE ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF TECHNICAL MEANS FOR HARVESTING AGRICULTURAL CROPS

^{1,2}Ryadnov A. I., ²Rudenko V. N., ¹Pavlovsky D. S., ¹Fedorov A. V.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
²Astrakhan State University
Astrakhan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Received 25.02.2024

Submitted 26.03.2024

Summary

The article presents calculations of hourly productivity of serial cars GAZ-SAZ-33071, GAZ-3302 Gazelle and KAMAZ 45144 with a trailer, as well as machine and tractor units MTZ-82.1+2PTS-4.5 and MTZ-82.1+PTRS (loader-transporter of hay rolls) for the transportation of hay rolls formed by a presspickers PR-F-110, PPR-120 "Pelikan" and PRF-750. The results of the evaluation of the hourly performance of the GAZ-3302 Gazelle on-board vehicle, equipped with a specialized cargo platform that allows unloading hay rolls without the use of additional machines, and a machine-tractor unit with an improved design of a loader-transporter of hay rolls, are also given.