

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.361.6

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-6-11-19

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ, СЕМЕНА И РАСТЕНИЯ**ЗАВАЛИЙ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**, *д-р техн. наук, доцент*¹

zavalym@mail.ru

АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ✉, *д-р техн. наук, профессор*²naldoshin@yandex.ru✉; <http://orcid.org/0000-0002-0446-1096>**ВОЛОЖАНИНОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**, *канд. техн. наук, доцент*¹

s.volozhaninov@mail.ru

ВОЛОБУЕВ ДМИТРИЙ ДМИТРИЕВИЧ, *магистрант*¹**ЩИГОЛЕВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ**, *канд. техн. наук, доцент*²

sergeysch127@mail.ru

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского; 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Получение высококачественного урожая зависит от значительного количества факторов: почвенно-климатических условий, качества семенного или посадочного материала, технологий возделывания, уровня технического оснащения и т.д. Кроме того, на эффективность производства сельскохозяйственной продукции в значительной степени оказывает влияние использование химических препаратов, применяемых для обработки различных биологических объектов (почва, семена, растения), что в свою очередь способствует «загрязнению» используемыми при обработке химическими соединениями и их компонентами почвы, грунтовых вод, рек и водоёмов, самих культивируемых растений. Для исключения негативного действия химических веществ на биологические объекты следует применять альтернативные методы их обработки, в качестве которых могут выступать методы физического воздействия, когда обработка происходит различными видами излучения, газовыми средами и т.д. Сформулированы задачи, которые необходимо решить при проектировании машин, обеспечивающих применение физических методов воздействия на биологический материал, а также основные принципы, которые должны быть заложены в их конструкцию для решения задач по формированию системы сельскохозяйственных машин и технологий, обеспечивающих высокую продуктивность, экологическую безопасность и получение здоровых продуктов питания путем полной или частичной замены химических воздействий физическими. Предложены конструкции устройств, применение которых обеспечит возможность обрабатывать почву, семена и растения физическими методами, направленными на борьбу с сорняками, вредителями и болезнями, а также на стимулирование прорастания и интенсивного развития посевного и посадочного материала, культивируемого как в открытом, так и в защищенном грунтах.

Ключевые слова: биологические объекты, экология, физические методы обработки, сельскохозяйственные машины.

Формат цитирования: Завалий А.А., Алдошин Н.В., Воложанинов С.С., Волобуев Д.Д., ЩигOLEV С.В. Технологии и машины для физических методов воздействия на почву, семена и растения // *Агроинженерия*. 2021. № 6(106). С. 11-19. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-11-19>.

© Завалий А.А., Алдошин Н.В., Воложанинов С.С., Волобуев Д.Д., ЩигOLEV С.В., 2021



ORIGINAL PAPER

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR MAKING PHYSICAL IMPACT ON SOIL, SEEDS, AND PLANTS**ALEKSEI A. ZAVALIY**, *DSc (Eng), Associate Professor*¹**NIKOLAY V. ALDOSHIN**✉, *DSc (Eng), Professor*²naldoshin@yandex.ru✉; <http://orcid.org/0000-0002-0446-1096>**SERGEY S. VOLOZHANINOV**, *PhD (Eng), Associate Professor*¹

s.volozhaninov@mail.ru

DMITRIY D. VOLOBUEV, MSc student¹

SERGEY V. SHCHIGOLEV, PhD (Eng), Associate Professor²

sergeysch127@mail.ru

¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University; 4 Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Republic of Crimea

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. Getting a high-quality yield depends on a significant number of factors: soil and climatic conditions, the quality of seed or planting material, cultivation technologies, the level of technical equipment, etc. In addition, the efficiency of agricultural production depends primarily on the use of chemicals to treat various biological objects (soil, seeds, and plants). In turn, they contribute to the “pollution” of chemical compounds and their components used in the treatment of soil, soil waters, rivers, and reservoirs, as well as crops grown. To prevent the negative effect of chemicals on biological objects, it is necessary to use alternative treatment methods, which can include a physical influence, carried out by various types of radiation, gaseous media, etc. The authors outline tasks to be solved in the machine design. They include ensuring physical influence on biological material, using basic design principles to solve the problems of forming a system of agricultural machines and technologies to ensure high productivity, environmental safety, and obtaining healthy food by completely or partially replacing chemical influence with the physical one. The paper proposes designs of devices to process the soil, seeds, and plants by physical methods aimed at combating weeds, pests, and diseases, as well as stimulating the germination and intensive development of seed and planting material cultivated both in open and protected ground.

Key words: biological objects, ecology, physical treatment methods, agricultural machines.

For citation: Zavaliy A.A., Aldoshin N.V., Volozhaninov S.S., Volobuev D.D., Shchigolev S.V. Technologies and machines for making physical impact on soil, seeds, and plants. *Agricultural Engineering*, 2021; 6 (106): 11-19. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-11-19>.

Введение. Получение высококачественного растительного сырья зависит от почвенно-климатических условий, качества семенного или посадочного материала, технологий возделывания, уровня технического оснащения на каждом этапе производства: от обработки почвы до послеуборочной или первичной переработки. Эффективность производства сегодня во многом зависит от использования химических методов обработки биологических объектов (почва, семена (саженцы), взрослые растения), что сопряжено с негативными побочными явлениями, в первую очередь – «загрязнением» используемыми при обработке химическими соединениями и их компонентами почвы, грунтовых вод, рек и водоёмов, самих культивируемых растений. Альтернативными методами обработки могут служить методы физического воздействия на почву, семена и растения, позволяющие бороться с сорняками, вредителями и болезнями, а также стимулировать прорастание и интенсивное развитие посевного, посадочного материала и культивируемые в открытом и защищенном грунте растения¹ [1-10]. К таким методам относят различные виды излучения, полив разной дисперсности, обработку газовыми средами.

Цель исследований: выбор эффективных методов физического воздействия на почву, семена и растения и формирование инженерных технических решений реализации методов физического воздействия для условий открытого и защищённого грунта.

Материал и методы. Собрана и проанализирована информация о технологиях, механизмах и устройствах, где применены физические методы обработки биологических объектов в сельскохозяйственном производстве.

При рассмотрении существующих технологий возделывания сельскохозяйственных культур следует учитывать последовательность технологических операций, включающих в себя обработку почвы, подготовку посевного или посадочного материала, посев или посадку растений, уход за растениями, уборку урожая, первичную обработку. Каждая из перечисленных операций представляет собой совокупность научного и производственного опыта, полученного с использованием различных методов и способов, направленных на повышение эффективности производства. Условно разделяя биологические объекты на три группы: «Почва», «Семена» и «Растения», – рассмотрим возможность повышения эффективности производства растительного сырья с учетом экологической составляющей. По нашему мнению, это возможно при использовании физических методов обработки, основанных на воздействии излучениями, поливе разной дисперсности, обработке газовыми средами. Основными задачами их применения являются:

- угнетение патогенных факторов (микроорганизмов, микрофлоры);
- стимулирование роста растений и сохранение полезных качеств объектов обработки.

Результаты и обсуждение. Производство «семян» зависит от почвенно-климатических условий, и прежде всего – от состояния «почвы» (особенно в устройствах защищенного грунта), поэтому её обработка и доведение до «здорового» состояния – первичная задача,

¹ Санжарова Н.И., Логачев П.В. Междисциплинарные фундаментальные и прикладные исследования по применению ионизирующих излучений в сельском хозяйстве, пищевой и перерабатывающей промышленности: Доклад. URL: https://rifa.ru/images/lp/КПНИ_АГРОРАД_Доклад.pdf (дата обращения 15.09.2021).

подразумевающая поиск и применение эффективных методов обеззараживания. Наиболее широкое применение получили паровой, химический и электродный методы обеззараживания почвы.

При химическом методе активно используются пестициды и биопрепараты, что приводит к накоплению токсинов в почве и продукции. Паровой метод предусматривает использование паровых установок, способных генерировать пар и отличающихся высокими энергозатратами. При электродном методе через слой почвы посредством электродов пропускается электрический ток, способствующий нагреву почвы до температуры на 20...30°C меньше, чем при паровом. Одним из основных недостатков этого метода является неравномерность прогрева почвы по всему объему: как правило, она выше у поверхности электродов [11, 12]. Одним из перспективных методов обработки почвы может служить применение инфракрасного (ИК) излучения. При этом использование устройства для обеззараживания почвы ИК-излучением, в котором для нагрева керамических элементов, генерирующих ИК-лучи, сжигается газ, увеличивает загазованность помещения, что негативно влияет на микроклимат в устройствах защищенного грунта [13]. В таком случае следует применять другие источники ИК-излучения.

Другой актуальной задачей является подготовка качественного семенного и посадочного материалов. Они также могут подвергаться различным физическим методам обработки. При послеуборочной обработке семян важное значение имеет процесс сушки, в ходе которого должна обеспечиваться быстрая и низкотемпературная обработка с сохранением биологических и реологических свойств, влияющих на сохранность и продуктивность. Семена могут подвергаться различным воздействиям: (конвективному [14-16], инфракрасному [17-28]), обработке СВЧ излучением [29, 30], ультрафиолетовому [31, 32], электромагнитному [33-36], радиационному [10] и их комбинациям.

Обработка семян ультрафиолетовыми лучами является перспективным экологически чистым и дешевым способом подготовки семян к посеву, однако требует необходимости проведения предварительной фитоэкспертизы для предотвращения развития инфекций после обработки [31].

Существующие исследования и имеющиеся разработки по применению ИК-излучения доказывают эффективность и безопасность такого метода обработки, но требуют доработки с точки зрения технологичности и конструктивных решений.

Сравнительные исследования с точки зрения биологического эффекта предпосевной обработки семян ИК-, ВЧ- и СВЧ-методами показали, что наиболее перспективной является кратковременная обработка инфракрасным облучением. При этом следует провести исследование влияния инфракрасного облучения на обеззараживание семенного материала [30].

Физические методы могут использоваться при уходе за растениями, многолетними насаждениями, в устройствах защищенного грунта в целях стимуляции растений, борьбы с вредителями и болезнями, но широкого

применения в промышленных масштабах они пока не получили [37].

Для решения задачи формирования системы сельскохозяйственных машин и технологий, обеспечивающих высокую продуктивность, экологическую безопасность и получение здоровых продуктов питания путем полной или частичной замены химических воздействий физическими, авторами разрабатываются машины, в основу конструкций которых заложены следующие основные принципы:

– используемые способы непосредственного физического воздействия должны обеспечивать равномерность обработки поверхностей растений с учетом морфологии и реологии, схем посева или посадки, сроков обработок и вегетации, формирования посадок и кроны;

– средства механизации и автоматизации, обеспечивающие применение физических методов для обработки биологических объектов, должны быть универсальными для применения в открытом и защищенном грунтах, при обработке однолетних и многолетних растений, кустарников и деревьев.

Для равномерного механико-лучевого обеззараживающего воздействия на почву авторами предлагается использовать устройство, предназначенное для работы в условиях защищенного грунта, изображенное на рисунке 1. Несущим элементом устройства является мобильная ферма 1, способная перемещаться на колесах 3 по рельсам 6, закрепленным на столбовых опорах 5 теплицы. Ферма имеет возможность продольного перемещения вдоль теплицы, что обеспечивается двумя шаговыми мотор-редукторами 4, соединенными с приводными колесами. На ферме установлена подвижная каретка 2, которая может совершать возвратно-поступательное движение вдоль фермы. Каретка оснащена устройством вертикального перемещения 8, к которому крепится транспортер 7, приводимый в движение от электродвигателя 10. На звеньях транспортера расположены зубья-ковши 9. Вдоль восходящей ветви транспортера установлены частотные излучатели 11, оснащенные отражателями, а вдоль нисходящей ветви – канал ссыпания почвы 15 с расположенными в нем частотными излучателями и патрубками для подачи паро-газовой среды 12.

При работе устройства несущая ферма подводится к обрабатываемому участку теплицы. Вертикальный транспортер перемещается вниз вплоть до достижения заданной глубины обработки. При этом зубья-ковши срезают слой почвы и перемещают его в вертикальном направлении, одновременно подвергая его обработке частотными излучателями (например, инфракрасными или ультрафиолетовыми). Перемещаясь далее, почва подается в канал ссыпания, где также подвергается лучевой обработке с возможностью одновременного воздействия регулируемые парогазовыми средами. После обработки участка транспортер выглубляется, и каретка перемещает его вдоль фермы на ширину захвата зубьев-ковшей. Затем происходит обработка следующего участка. Когда каретка достигнет края теплицы, ферма перемещается вперед на расстояние, равное ширине одной ветви вертикального транспортера, и процесс повторяется.

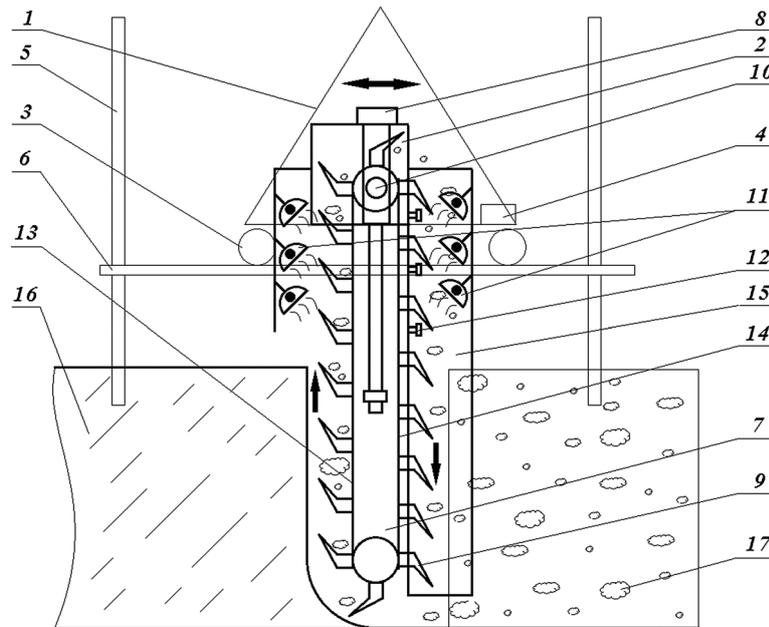


Рис. 1. Устройство для обеззараживания почвы с механико-лучевой обработкой:

- 1 – мобильная ферма; 2 – подвижная каретка; 3 – колеса; 4 – мотор-редуктор;
- 5 – столбовые опоры теплицы; 6 – рельсы; 7 – вертикальный цепной транспортер;
- 8 – устройство вертикального перемещения цепного транспортера; 9 – зубья-ковши; 10 – электродвигатель;
- 11 – частотные излучатели энергии; 12 – патрубки для подачи парогазовой среды;
- 13 – восходящая ветвь транспортера; 14 – нисходящая ветвь транспортера; 15 – канал ссыпания почвы;
- 16 – слой необработанной почвы; 17 – слой обработанной почвы

Fig. 1. Device for soil disinfection with mechanical and radiation treatment:

- 1 – mobile farm; 2 – movable carriage; 3 – wheels; 4 – gear motor; 5 – pole supports of the greenhouse;
- 6 – rails; 7 – vertical chain conveyor; 8 – vertical movement device for the chain conveyor; 9 – bucket teeth;
- 10 – electric motor; 11 – frequency emitters of energy; 12 – branch pipes for supplying a vapor-gas medium;
- 13 – ascending branch of the conveyor; 14 – descending branch of the conveyor; 15 – channel for soil dumping;
- 16 – untreated soil layer; 17 – treated soil layer

На рисунке 2 представлена принципиальная схема разработанного авторами конвейерного устройства для обработки семян инфракрасным излучением. При его разработке ставились следующие задачи:

- максимальное сохранение репродуктивной способности семян, для обеспечения которой необходимо использовать атравматичные методы перемещения и «мягкие» режимы равномерной тепловой обработки, не допускающие перегрева семян и нарушения целостности оболочки семян высоким температурным напряжением;

- обеспечение низких удельных затрат энергии на тепловую обработку при условии применения экологически безопасных источников энергии;
- низкая стоимость оборудования, обеспечиваемая применением «нежестких» элементов оборудования и «нежестких» связей между элементами;
- универсальность оборудования по отношению к сырью и его исходным свойствам;
- низкие эксплуатационные затраты при осуществлении ремонтных работ, замены узлов и обслуживания.

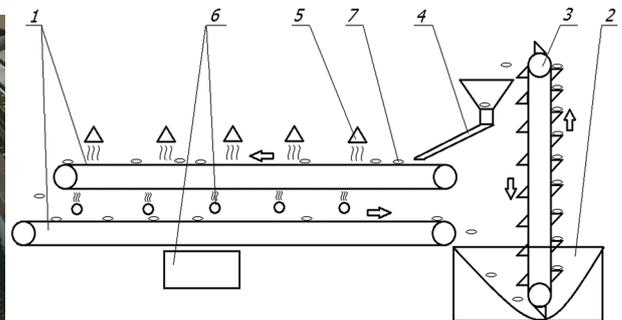


Рис. 2. Внешний вид и принципиальная схема конвейерного устройства инфракрасной сушки:

- 1 – основной конвейер; 2 – бункер-накопитель; 3 – нория; 4 – раздаточный узел;
- 5 – инфракрасные излучатели; 6 – система вентиляции; 7 – семена

Fig. 2. External design and schematic diagram of the infrared drying conveyor device:

- 1 – main conveyor; 2 – storage hopper; 3 – noria; 4 – dispensing unit; 5 – infrared emitters; 6 – ventilation system; 7 – seeds

При работе устройства исходный материал засыпается в бункер 2, откуда посредством норрии 3 подается на раздаточный узел 4, обеспечивающий распределение семян по ширине ленты основного конвейера. Перемещаясь по нему, семена проходят под инфракрасными излучателями 5 и одновременно, с некоторым смещением по горизонтали, подвергаются обдувке воздухом с помощью системы вентиляции 6. После прохождения по верхней ветви основного транспортера семена ссыпаются

на нижнюю ветвь и транспортируются в обратном направлении в бункер. Процесс повторяется до достижения семенами необходимой влажности.

Для обработки небольших партий семян овощных культур, эфиромасличных культур, получения и обработки семян хвойных пород деревьев, обеззараживания почвы для сооружений защищенного грунта разработана настольная установка, представленная на рисунке 3.

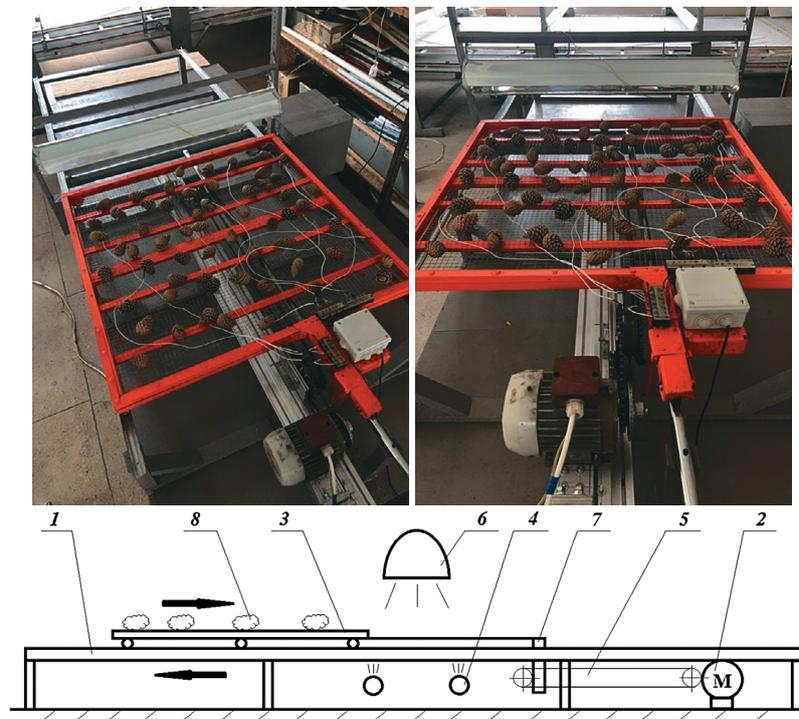


Рис. 3. Внешний вид и принципиальная схема настольной установки для физических методов обработки:
1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – тележка; 4 – сопло; 5 – цепная передача; 6 – излучатель; 7 – рычаг;
8 – объекты обработки

Fig. 3. External design and schematic diagram of a desktop installation for physical treatment:
1 – frame; 2 – electric motor; 3 – cart; 4 – nozzle; 5 – chain transmission; 6 – emitter; 7 – lever; 8 – treated materials

Установка состоит из рамы с направляющими 1, по которым посредством роликов движется тележка 3 с размещенными на ней объектами обработки 8. Тележка совершает возвратно-поступательное движение, которое ей сообщает электродвигатель 2 через рычаг 7 и цепную передачу 5. При этом обрабатываемые объекты подвергаются лучистому воздействию с помощью ламп, устанавливаемых в излучателе 6. Тележка 3 имеет сетчатое основание, через которое объекты подвергаются обработке газами (например, озон), подаваемыми через сопла 4.

Для обработки почвы и растений в закрытом грунте авторами предлагается мостовая ферма, представленная на рисунке 4а. Данная конструкция представляет собой самоходную несущую ферму, которая колесами в четырех точках опирается на труборельсы, расположенные вдоль рядов опор. Ферма приводится в движение от электродвигателей через зубчатые передачи. На ферме могут располагаться распылители для обработки почвы (рис. 4б, г, е) или растений (рис. 4 в, д, ж) жидкостями или газами, излучатели для обработки

объектов инфракрасным, ультрафиолетовым или СВЧ-излучением. При расположении направляющих движения фермы на различной высоте реализуется возможность обработки субтропических корнесобственных саженцев и салатных, шпинатных и десертных овощей. В случае необходимости проведения междурядной обработки ферму предлагается снабжать дополнительными штангами.

Использование микропроцессорного управления установкой позволит обеспечить удобную программную перенастройку её работы для выполнения обработок различного вида и различных растений, исключая при этом контакт устройства с почвой и растениями, а также позволяя произвольно располагать растения под установкой.

Для обеспечения возможности обработки физическими методами биологических объектов в открытом грунте, школах, питомниках, семеноводческих участках, интенсивных и многолетних насаждений предлагается использовать автоматизированное самоходное шасси с изменяемой шириной колеи и клиренсом (рис. 5).

У шасси возможно изменение клиренса от 1600 до 2200 мм, а также колеи от 1200 до 1800 мм, что позволяет его использовать при движении как между

рядами растений, так и над ними. Для шасси предусмотрены варианты дистанционного и программного управления работой.

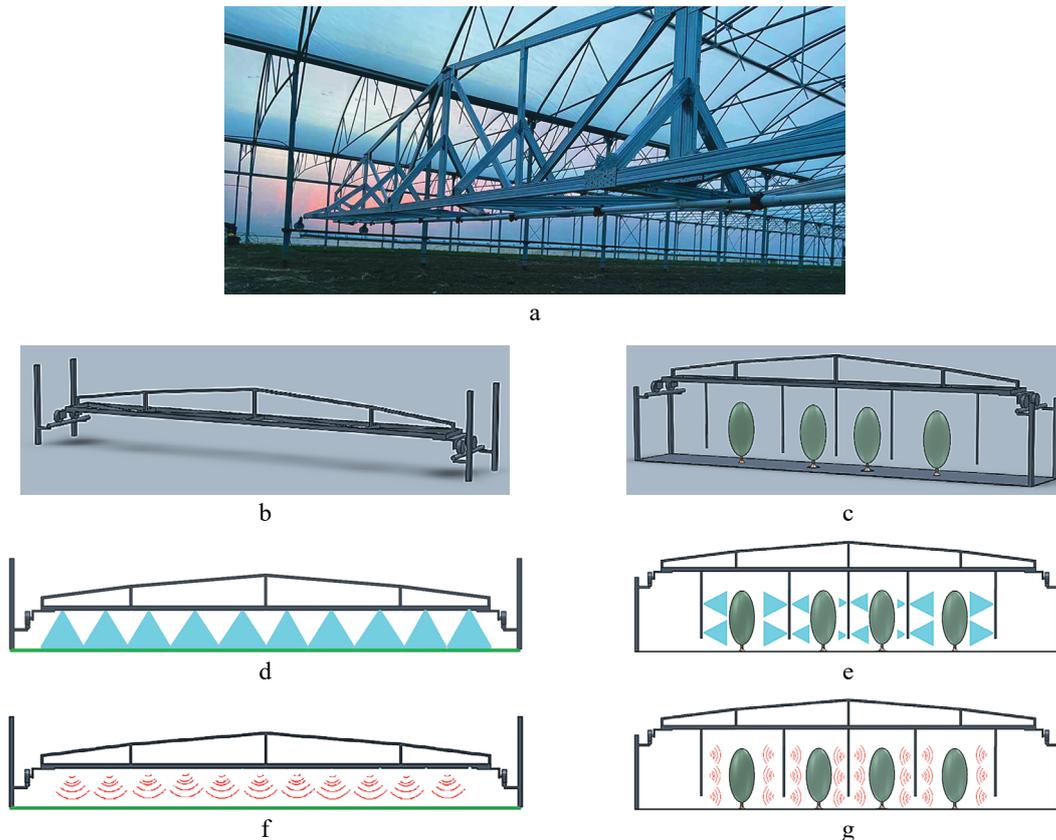


Рис. 4. Внешний вид (а) и варианты исполнения мостовой фермы для реализации физических методов обработки почвы и растений в защищенном грунте: b, c – общий вид устройства; d, e – комплектация для обработки жидкостями и газами; f, g – комплектация для обработки излучением

Fig. 4. External design (a) and versions of the bridge girder for physical methods of soil and plant cultivation in protected ground: b, c – general view of the device; d, e – equipment for treating with liquids and gases; f, g – equipment for radiation treatment

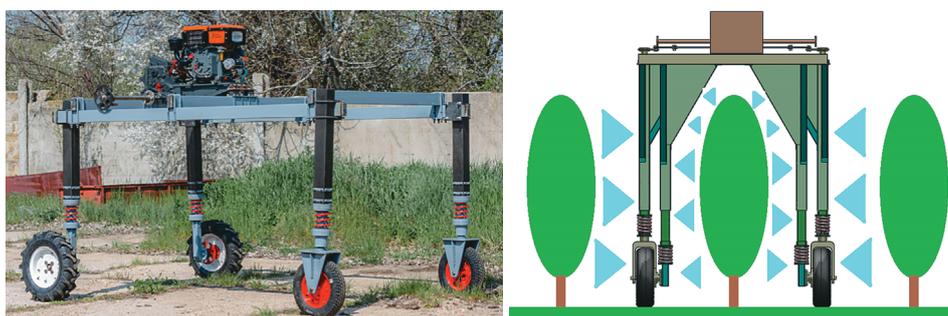


Рис. 5. Внешний вид и схема технологического процесса обработки биологических объектов с использованием самоходного шасси

Fig. 5. Appearance and diagram of the technological process of treating biological objects using a self-propelled chassis

Для получения «здорового» посадочного материала авторами ведутся разработки по созданию климатических модулей с контролируемыми параметрами влажности и температуры. В предлагаемых устройствах реализуются все вышеперечисленные варианты физических

методов обработки: инфракрасное, ультрафиолетовое, СВЧ-излучение, полив разной дисперсности, обработка газами. Применение этих модулей даёт возможность получать саженцы субтропических и районированных культур при отсутствии химических воздействий на растения.

Выводы

Предложенные разработки дают возможность повысить качество сельскохозяйственной продукции посредством снижения химической нагрузки на растения и почву. Применение методов физической обработки отвечают следующим принципам:

- максимальное сохранение репродуктивной способности семян и посадочного материала;

- низкие удельные затраты энергии на обработку при условии применения экологически безопасных источников энергии;

- снижение экологической нагрузки на окружающую среду посредством применения физических методов обработки растений;

- угнетение микрофлоры и микроорганизмов;

- стимуляция биологических процессов в растениях.

Библиографический список

1. Pokhrel A., Soni P. Energy balance and environmental impacts of rice and wheat production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2019; 12 (1): 201-207. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191201.3270>
2. Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*, 2017; 24 (1): D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>
3. Schneider A., Perrin A. – S., Le Gall C. Oléagineux et protéagineux: concilier l'atténuation du changement climatique et la nécessité de s'y adapter. *OCL*, 2017; 24 (1): D101. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017004>
4. Ghasempour A., Ahmadi E. Evaluation of environmental effects in producing three main crops (Corn, wheat and soybean) using life cycle assessment. *CIGR Journal*, 2018; 20 (2): 126-137.
5. Žitňák M., Kollárová K., Macák M. et al. Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. *Research in Agricultural Engineering*, 2015; 61: 26-36. <https://doi.org/10.17221/23/2015-RAE>
6. McCartney L., Lefsrud M. Protected Agriculture in Extreme Environments: A Review of Controlled Environment Agriculture in Tropical, Arid, Polar, and Urban Locations. *Applied Engineering in Agriculture*, 2018; 34 (2): 455-473. <https://doi.org/10.13031/aea.12590>
7. Shin C.S., Kim K.U. CO2 Emissions by Agricultural Machines in South Korea. *Applied Engineering in Agriculture*, 2018; 34 (2): 311-315. <https://doi.org/10.13031/aea.11796>
8. Whitehouse K.J., Owoborode O.F., Adebayo O.O. et al. Further Evidence That the Genebank Standards for Drying Orthodox Seeds May Not Be Optimal for Subsequent Seed Longevity. *Biopreserv Biobank*. 2018; 16 (5): 327-336. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0026>
9. Leprince O., Pellizzaro A., Berriri S., Buitink J. Late seed maturation: drying without dying. *Journal of Experimental Botany*, 2017; 68 (4): 827-841. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw363>
10. Алёшин В.Н., Ачмиз А.Д., Першакова Т.В. и др. Применение радиационных агробiotехнологий при хранении и переработке растительного сырья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 136. С. 22-35. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-136-003>
11. Баранов Л.А., Бурнаев М.Г. Устройство для электротермической обработки почвы защищенного грунта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2007. № 20 (92). С. 46-49.
12. Кабалоев Т.Х. Энергетические режимы и технические средства обеззараживания почвы в защищенном грунте: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Зерноград, 2005. 38 с.

References

1. Pokhrel A., Soni P. Energy balance and environmental impacts of rice and wheat production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2019; 12(1): 201-207. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191201.3270>
2. Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*. 2017; 24(1): D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016052>
3. Schneider A., Perrin A. – S., Le Gall C. Oléagineux et protéagineux: concilier l'atténuation du changement climatique et la nécessité de s'y adapter. *OCL*. 2017; 24 (1): D101. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017004>
4. Ghasempour A., Ahmadi E. Evaluation of environmental effects in producing three main crops (Corn, wheat and soybean) using life cycle assessment. *CIGR Journal*, 2018; 20(2): 126-137.
5. Žitňák M., Kollárová K., Macák M. et al. Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. *Research in Agricultural Engineering*, 2015; 61: 26-36. <https://doi.org/10.17221/23/2015-RAE>
6. McCartney L., Lefsrud M. Protected Agriculture in Extreme Environments: A Review of Controlled Environment Agriculture in Tropical, Arid, Polar, and Urban Locations. *Applied Engineering in Agriculture*, 2018; 34(2): 455-473. <https://doi.org/10.13031/aea.12590>
7. Shin C.S., Kim K.U. CO2 Emissions by Agricultural Machines in South Korea. *Applied Engineering in Agriculture*, 2018; 34(2): 311-315. <https://doi.org/10.13031/aea.11796>
8. Whitehouse K.J., Owoborode O.F., Adebayo O.O. et al. Further evidence that the genebank standards for drying orthodox seeds may not be optimal for subsequent seed longevity. *Biopreserv Biobank*. 2018; 16(5): 327-336. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0026>
9. Leprince O., Pellizzaro A., Berriri S., Buitink J. Late seed maturation: drying without dying. *Journal of Experimental Botany*, 2017; 68(4): 827-841. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw363>
10. Alyoshin V.N., Achmiz A.D., Pershakova T.V. et al. Primenenie radiatsionnykh agrobiotekhnologii pri khranении i pererabotke rastitel'nogo syr'ya [Use of radiation agrobiotechnologies in the storage and processing of vegetable raw materials]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018; 136: 22-35. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-136-003> (In Rus.)
11. Baranov L.A., Burnaev M.G. Ustroystvo dlya elektrotermicheskoy obrabotki pochvy zashchishchennogo grunta [Device for the electrothermal treatment of protected soil]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Energetika*. 2007; 20 (92): 46-49. (In Rus.)
12. Kabaloev T.Kh. Energeticheskie rezhimy i tekhnicheskoe sredstva obezzarazhivaniya pochvy v zashchishchennom

13. Устройство для обеззараживания почвы ИК-излучением: патент № 197880 РФ, МПК А01М 17/00(2006.01) А01М 21/04(2006.01) / И.Г. Поспелова, И.В. Возмищев, А.М. Ниязов, И.М. Новоселов; заявл. 13.12.2019, опубл. 03.06.2020, Бюл. № 16.
14. Вентилируемый бункер для сушки семян: патент № 161411 РФ, МПК А01F 25/14(2006.01) Е04Н 7/22(2006.01) / В.В. Морозов, Н.М. Максимов; заявл. 30.09.2015, опубл. 20.04.2016, Бюл. № 11.
15. Сушилка семян и зерна: патент № 2684041 РФ, МПК F26B9/06(2006.01) F26B25/22(2006.01) / Г.А. Бибики; заявл. 04.05.2018, опубл. 03.04.2019, Бюл. № 10.
16. Способ сушки мелкосеменных культур и устройство для его осуществления: патент № 2638253 РФ, МПК F26B3/14(2006.01) / А.В. Голубкович, С.А. Павлов, А.Ю. Измайлов; заявл. 13.10.2016, опубл. 12.12.2017, Бюл. № 35.
17. Li B.R., Lin J.Y., Zheng Z.A. et al. Effects of different drying methods on drying kinetics and physicochemical properties of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Int J Agric & Biol Eng*, 2019; 12 (3): 187-193.
18. Liu Y.H., Li X.F., Zhu W.X. et al. Drying characteristics, kinetics model and effective moisture diffusivity of vacuum far-infrared dried *Rehmannia*. *Int J Agric & Biol Eng*, 2016; 9 (5): 208-217.
19. Chen P.L., Xu J., Tang Y., Liu M.H. Experiments on paddy drying mechanism of far-infrared convection combination in combine harvester. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 59 (3): 133-140. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-15>
20. Bandura V., Mazur V., Yaroshenko L., Rubanenko O. Research on sunflower seeds drying process in a monolayer tray vibration dryer based on infrared radiation. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 57 (1): 233-242.
21. Paziuk V.M., Liubin M.V., Yaropud V.M. et al. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2018; 56 (3): 39-48.
22. Yang M.J., Liu B., Yang Z.R. et al. Development and experimental study of infrared belt dryer for rapeseed. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2017; 53 (3): 71-80.
23. Rudobashta S., Zueva G. Drying of seeds through oscillating infrared. *Drying Technology*, 2016; 34 (5): 505-515.
24. Вертикальная зерновая сушилка каскадного типа: патент № 194628 РФ, МПК F26B15/18(2006.01) / Е.Е. Кузнецов и др.; заявл. 26.04.2018, опубл. 17.12.2019, Бюл. № 35.
25. Способ сушки семян рапса: патент № 2638690 РФ, МПК F26B3/30(2006.01) / В.М. Попов, В.А. Афонкина, Е.И. Шукшина, В.И. Майоров; заявл. 11.08.2016, опубл. 15.12.2017, Бюл. № 35.
26. Сушильная установка: патент № 199290 РФ, МПК F26B17/04(2006.01) F26B3/30(2006.01) / В.М. Попов и др.; заявл. 18.06.2019, опубл. 25.08.2020, Бюл. № 24.
27. Устройство для сушки: патент № 140792 РФ, МПК F26B9/06(2006.01) / С.А. Афонин, В.Е. Шкуров, А.О. Горчаков; заявл. 08.08.2013, опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.
28. Способ импульсной инфракрасной сушки термолабильных материалов: патент № 2009119751 РФ, МПК F26B3/06(2006.01) F26B3/30(2006.01) / И.В. Григорьев, С.П. Рудобашта; заявл. 26.05.2009, опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.
29. Установка для предпосевной обработки и сушки семян СВЧ-энергией: патент № 188559 РФ, МПК А01С1/00(2006.01) / М.В. Горелов, Т.Н. Бастрон; заявл. 14.11.2018, опубл. 16.04.2019, Бюл. № 11.
- grunte [Energy modes and technical means of soil disinfection in protected ground]: Self-review of DSc (Eng) thesis. Zernograd, 2005: 38. (In Rus.)
13. Pospelova I.G., Vozmishchev I.V., Niyazov A.M., Novoselov I.M. *Ustroystvo dlya obezrazhivaniya pochvy IK-izlucheniem* [Device for soil disinfection by infrared radiation]: patent No. 197880 RF, IPC A01M 17/00 (2006.01) A01M 21/04 (2006.01), 2020. (In Rus.)
14. Morozov V.V., Maximov N.M. *Ventiliruemyi bunker dlya sushki semyan* [Ventilated hopper for drying seeds]: patent No. 161411 RF, IPC A01F 25/14 (2006.01) E04H 7/22 (2006.01), 2016. (In Rus.)
15. Bibik G.A. *Sushilka semyan i zerna* [Dryer of seeds and grain]: patent No. 2684041 RF, IPC F26B9/06 (2006.01) F26B25/22 (2006.01). 2019. (In Rus.)
16. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Izmaylov A.Yu. *Sposob sushki melkosemennyykh kul'tur i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for drying small-seeded crops and a device for its implementation]: patent No. 2638253 RF, IPC F26B3/14 (2006.01), 2017. (In Rus.)
17. Li B.R., Lin J.Y., Zheng Z.A. et al. Effects of different drying methods on drying kinetics and physicochemical properties of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Int J Agric & Biol Eng*, 2019; 12(3): 187-193.
18. Liu Y.H., Li X.F., Zhu W.X. et al. Drying characteristics, kinetics model and effective moisture diffusivity of vacuum far-infrared dried *Rehmannia*. *Int J Agric & Biol Eng*, 2016; 9(5): 208-217.
19. Chen P.L., Xu J., Tang Y., Liu M.H. Experiments on paddy drying mechanism of far-infrared convection combination in combine harvester. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 59(3): 133-140. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-15>
20. Bandura V., Mazur V., Yaroshenko L., Rubanenko O. Research on sunflower seeds drying process in a monolayer tray vibration dryer based on infrared radiation. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 57(1): 233-242.
21. Paziuk V.M., Liubin M.V., Yaropud V.M. et al. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2018; 56 (3): 39-48.
22. Yang M.J., Liu B., Yang Z.R. et al. Development and experimental study of infrared belt dryer for rapeseed. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2017; 53(3): 71-80.
23. Rudobashta S., Zueva G. Drying of seeds through oscillating infrared. *Drying Technology*, 2016; 34(5): 505-515.
24. Kuznetsov E.E. et al. *Vertikal'naya zernovaya sushilka kaskadnogo tipa*: patent [Vertical grain dryer of a cascade type]: patent No. 194628 RF, IPC F26B15/18 (2006.01), 2019. (In Rus.)
25. Popov V.M., Afonkina V.A., Shukshin E.I., Maiorov V.I. *Sposob sushki semyan rapsa* [Method for drying rape seeds]: patent No. 2638690 RF, IPC F26B3/30 (2006.01), 2017. (In Rus.)
26. Popov V.M. et al. *Sushil'naya ustanovka* [Drying plant]: patent No. 199290 RF, IPC F26B17/04 (2006.01) F26B3/30 (2006.01), 2020. (In Rus.)
27. Afonin S.A., Shkurov V.E., Gorchakov A.O. *Ustroystvo dlya sushki* [Drying unit]: patent No. 140792 RF, IPC F26B9/06 (2006.01), 2014. (In Rus.)
28. Grigoriev I.V., Rudobashta S.P. *Sposob impul'snoy infrakrasnoy sushki termolabil'nykh materialov* [Method of pulsed infrared drying of thermolabile materials]: patent No. 2009119751 RF, IPC F26B3/06 (2006.01) F26B3/30 (2006.01), 2009. (In Rus.)
29. Gorelov M.V., Bastron T.N. *Ustanovka dlya predpossevnoy obrabotki i sushki semyan SVCH-energiy* [Installation

30. Цугленок Н.В. Анализ эффективного использования ИК и ВЧ и СВЧ методов обработки семян // Вопросы науки и образования. 2019. № 21 (68). С 60-73.

31. Курьлева А.Г., Кондратьева Н.П. Эффективность ультрафиолетового облучения семян зерновых культур // Пермский аграрный вестник. 2019. № 4 (28). С. 47-52.

32. Соснин Э.А., Липатов Е.И., Скакун В.С. и др. Действие УФ-излучения среднего диапазона ХеСl-эксилампы на морфогенез и структуру урожая пшеницы сорта *Triticumaestivum* l // Прикладная физика. 2020. № 2. С. 98-104.

33. Чекмарев В.В. Совместная химическая и электромагнитная обработка семян // Защита и карантин растений. 2013. № 4. С. 52-53.

34. Вербицкая Н.В., Соболева О.М., Кондратенко Е.П. Особенности воздействия электромагнитного поля на посевные качества семян пшеницы // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. Т. 2, № 7. С. 28-31.

35. Хныкина А.Г., Рубцова Е.И., Стародубцева Г.П., Безгина Ю.А. Влияние импульсного электрического поля на микофлору семян сельскохозяйственных культур // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 54.

36. Смирнов А.И. Влияние электромагнитных полей низкой частоты на рост сеянцев сосны обыкновенной // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 4. С. 52-55.

37. Гаджимусиева Н.Т., Асварова Т.А., Абдулаева А.С. Эффект воздействия инфракрасного и лазерного излучения на всхожесть семян пшеницы // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-9. С. 1939-1943.

for microwave pre-sowing seed treatment and drying]: patent No. 188559 RF, IPC A01C1/00 (2006.01), 2019. (In Rus.)

30. Tsuglenok N.V. Analiz effektivnogo ispol'zovaniya IK i VCH i SVCH metodov obrabotki semyan [Analysis of the effective use of IR, HF, and microwave methods of seed treatment]. *Voprosy nauki i obrazovaniya*, 2019; 21 (68): 60-73. (In Rus.)

31. Kuryleva A.G., Kondratyeva N.P. Effektivnost' ul'trafiol'etovogo oblucheniya semyan zernovykh kul'tur [Effectiveness of the ultraviolet irradiation of grain crops]. *Permskiy agrarniy vestnik*, 2019; 4 (28): 47-52. (In Rus.)

32. Sosnin E.A., Lipatov E.I., Skakun V.S. et al. Deystviye UF-izlucheniya srednego diapazona XeCl-eksilampy na morfogenez i strukturu urozhaya pshenitsy sorta *Triticumaestivum* l [Effect of mid-range UV radiation of the XeCl excilamp on the morphogenesis and yield structure of the *Triticumaestivum* l wheat cultivar]. *Prikladnaya fizika*, 2020; 2: 98-104. (In Rus.)

33. Chekmarev V.V. Sovmestnaya khimicheskaya i elektromagnitnaya obrabotka semyan [Combined chemical and electromagnetic seed treatment]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2013; 4: 52-53. (In Rus.)

34. Verbitskaya N.V., Soboleva O.M., Kondratenko E.P. Osobennosti vozdeystviya elektromagnitnogo polya na posevnye kachestva semyan pshenitsy [Effect of the electromagnetic field on the sowing quality of wheat seeds]. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*, 2014; 2(7): 28-31. (In Rus.)

35. Khnykina A.G., Rubtsova E.I., Starodubtseva G.P., Bezgina Yu.A. Vliyanie impul'snogo elektricheskogo polya na mikofloru semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Influence of a pulsed electric field on the mycoflora of agricultural crop seeds]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2012; 6: 54. (In Rus.)

36. Smirnov A.I. Vliyanie elektromagnitnykh poley nizkoy chastoty na rost seyantsev sosny obyknovennoy [Influence of low-frequency electromagnetic fields on the growth of Scots pine seedlings]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2014; 4: 52-55. (In Rus.)

37. Gadzhimusieva N.T., Asvarova T.A., Abdulaeva A.S. Effekt vozdeystviya infrakrasnogo i lazernogo izlucheniya na vskhozhest' semyan pshenitsy [Effect of infrared and laser radiation on the germination of wheat seeds]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014; 11-9: 1939-1943. (In Rus.)

Критерии авторства

Завалий А.А., Алдошин Н.В., Воложанинов С.С., Волобуев Д.Д., Щиголов С.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Завалий А.А., Алдошин Н.В., Воложанинов С.С., Волобуев Д.Д., Щиголов С.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.09.2021

Одобрена после рецензирования 08.10.2021

Принята к публикации 11.10.2021

Contribution

A.A. Zavaliy, N.V. Aldoshin, S.S. Volozhaninov, D.D. Volobuev, S.V. Shchigolev performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.A. Zavaliy, N.V. Aldoshin, S.S. Volozhaninov, D.D. Volobuev, S.V. Shchigolev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 24.09.2021

Approved after reviewing 08.10.2021

Accepted for publication 11.10.2021