

ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Научная статья

УДК 633.152.47

doi: 10.55170/19973225_2023_8_4_58

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ФИТОУСТАНОВКИ
ДЛЯ МАЛООБЪЕМНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИКРОЗЕЛЕНИ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР**

Евгений Александрович Евсеев¹, Сергей Иванович Васильев², Сергей Владимирович Машков³

^{1, 2, 3} Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия

¹evseevevgen15@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7853-0875>

²si_vasilev@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4368-3123>

³mash_ser@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9941-3803>

Цель исследований – разработка конструктивной схемы фитоустановки для малообъемного выращивания микрозелени и овощных культур. В настоящее время все больше людей проявляют интерес к здоровому питанию, поэтому выращивание микрозелени и овощных культур становится особенно актуальным. Для выращивания микрозелени и овощных культур используют различные фитоустановки, которые могут иметь разные формы, размеры и могут быть изготовлены из разных материалов. Однако у таких фитоустановок есть недостатки: они обычно слишком большие для использования в частных домах и не обеспечивают необходимый диапазон параметров микроклимата. В результате эвристического анализа была разработана конструктивная схема фитоустановки, которая включает в себя каркас, прозрачные стенки, светильники белого света, фитосветильники и блок управления. Блок управления расположен на верхней крышке фитоустановки. Он содержит тумблеры для включения светильников белого света и фитосветильников, устройство защитного отключения и модуль дистанционного управления. В стенках и верхней крышке устройства выполнены отверстия для микровентиляции. Микровентиляция регулируется при помощи специальных заслонок вручную. Также определено расстояние от расчетной поверхности до светильников, которое составило 0,26 м, и рассчитано расстояние между светильниками, которое составило 0,2 м. Определены места расположения светильников в фитоустановке. Общее количество светильников составляет 5 штук. Подобраны фитосветильники марки «Uniel U11-P19-30W» мощностью 30 Вт со световым потоком 2600 Лм, и светильники белого света марки «ДПО-2х12» мощностью 24 Вт со световым потоком 4000 Лм.

Ключевые слова: фитоустановка, конструктивная схема, освещение, контролируемые условия, микроклимат.

Для цитирования: Евсеев Е. А., Васильев С. И., Машков С. В. Разработка конструктивной схемы фитоустановки для малообъемного выращивания микрозелени и овощных культур // Известия самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. №4. С. 58–64. doi: 10.55170/19973225_2023_8_4_58

TECHNOLOGY, MEANS OF MECHANIZATION AND POWER EQUIPMENT
IN AGRICULTURE

Original article

**DEVELOPMENT OF A DESIGN SCHEME OF A PHYTOINSTALLATION
FOR LOW-VOLUME CULTIVATION OF MICROGREENS AND VEGETABLE CROPS**

Evgeniy A. Evseev¹, Sergey I. Vasiliev², Sergey V. Mashkov³

^{1, 2, 3}Samara State Agrarian University, Kinel, Russia

¹evseevevgen15@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7853-0875>

²si_vasilev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4368-3123>

³mash_ser@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9941-3803>

The purpose of the study is to develop a design scheme of a phytoinstallation for low-volume cultivation of microgreens and vegetable crops. Currently, more and more people are showing interest in healthy nutrition, and therefore the cultivation of microgreens and vegetable crops is becoming especially relevant. For the cultivation of microgreens and vegetable crops, various installations are used, which can have different shapes, sizes and can be made of different materials. However, such installations have disadvantages: they are usually too large for use in private homes and do not provide the necessary range of microclimate parameters. In the course of the work, a constructive scheme of the phytoinstallation was developed, it includes a frame, transparent walls, white light fixtures, phytoluminaires and a control unit. The control unit is located on the top cover of the phytoinstallation, includes toggle switches for switching on white light fixtures and phytoluminaires, a protective shutdown device and a remote-control module. Holes for micro-ventilation are made in the walls and top cover of the device. The micro-ventilation is regulated by means of special shutters manually. The calculation of the location of the lamps in the phytoinstallation was also carried out, the distance from the calculated surface to the lamps was calculated to be 0.26 m, the distance between the lamps was calculated to be 0.2 m. The total number of lamps is 5 pieces. The phytoluminescent lamps of the brand «Uniel U11-P19-30W» with a power of 30 W with a luminous flux of 46 mmol/s and white light lamps of the brand «DPO-2x12» with a power of 24 W with a luminous flux of 4000 Lm. were selected.

Keywords: phytoinstallation, design scheme, lighting, controlled conditions, microclimate.

For citation: Evseev, E. A., Vasiliev, S. I. & Mashkov, S. V. (2023). Development of a design scheme of a photoinstallation for low-volume cultivation of microgreens and vegetable crops. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 4, 58–64 (in Russ.). doi: 10.55170/19973225_2023_8_4_58

Сегодня отрасль сельского хозяйства растениеводство развивается очень быстро. Особенно важным становится выращивание микрозелени и овощных культур в контролируемых условиях.

В настоящее время исследования в области выращивания микрозелени и овощных культур в фитоустановках являются актуальными. Такие фитоустановки позволяют выращивать микрозелень и овощные культуры независимо от времени года, что обеспечивает постоянное предложение на рынок свежей и здоровой продукции. Однако у существующих установок есть свои недостатки. Например, многие из них имеют большие размеры и большую массу конструкции. Кроме того, многие аналоги не обеспечивают достаточно широкий спектр параметров для поддержания оптимального микроклимата для роста и развития выращиваемых растений.

Цель исследований – разработка конструктивной схемы фитоустановки для малообъемного выращивания микрозелени и овощных культур.

Задачи исследований – обосновать параметры разрабатываемой конструктивной схемы фитоустановки.

Материал и методы исследований. При выращивании микрозелени очень важно обеспечить качественное освещение (досвечивание) и оптимальный микроклимат. Соблюдение этих условий обеспечивает ускоренный рост и развитие растений, повышение урожайности. Таким образом сокращается время одного цикла выращивания микрозелени и овощных культур [1].

Для выявления преимуществ и недостатков фитоустановок был проведен обзор и анализ аналогичных установок. Были проанализированы следующие установки для выращивания микрозелени и овощных культур: Гроутент марки «Probox Есорго», фитотрон марки «ЛиА-2», «Фитотрон» (патент № 49420, РФ) и установка, выполненная в соответствии с описанием к патенту № 61984, РФ «Светодиодный фитоинкубатор».

Все названные установки применяют для выращивания микрозелени и овощных культур, однако они отличаются по конструктивным особенностям. Вышеперечисленные установки имеют встроенные блоки управления. Стенки устройства у фитотрона «ЛиА-2» [3] и «Фитотрона» (патент № 49420, РФ) [4] выполнены из жесткого материала, стенки гроутента «Probox Есорго» [2] выполнены из полиэстеровой ткани, что не позволяет обеспечить требуемую жесткость конструкции. Представленные устройства не обеспечивают желаемым диапазоном параметров микроклимата. Стенки светодиодного фитоинкубатора открытые, из-за этого не создается требуемый микроклимат для выращивания микрозелени и овощных культур [5]. Представленные аналоги, в частности, Фитотрон «ЛиА-2» и «Фитотрон» (патент № 49420, РФ) имеют большие размеры, что не подходит для

применения в условиях частных домовладений, для которых необходимы малые размеры устройств. Проведенный анализ показал, что существующие аналоги имеют ряд недостатков, которые устранены в проектируемой фитоустановке.

Результаты исследований. Проектируемая фитоустановка имеет форму прямоугольника следующих размеров: высота 0,5 м, ширина 0,95 м, длина 0,491 м. Установка таких размеров подходит для пользователей с небольшим помещением, к примеру, для малых частных домовладений. Особенностью конструкции являются прозрачные стенки из оргстекла. Блок управления установлен снаружи на верхней крышке. Проектируемая установка отличается от аналогов компактностью, эргономичностью, имеются возможности настраивания параметров микроклимата и подстраивания под разные культуры. Каркас предлагаемой фитоустановки выполнен из алюминиевых уголков с целью увеличения его прочности и снижения массы конструкции. Корпус выполнен из прозрачного оргстекла для обеспечения проникновения естественного света в фитоустановку. Также прозрачные стенки позволяют вести визуальный контроль за растениями.

Блок управления выполнен из металла, он содержит тумблеры включения светильников белого света и фитосветильников, а также устройство защитного отключения для защиты человека от поражения электрическим током. Для защиты от короткого замыкания в блоке питания установлен автоматический выключатель.

В проектируемой фитоустановке применен модуль дистанционного управления светильниками белого света и фитосветильниками.

В фитоустановке используются фитосветильники марки «Uniel U11-P19-30W» [6] и светильники белого света марки «ДПО-2х12» [7]. Использование двух видов светильников в фитоустановке (белого света и фитоосвещения) позволяют создать необходимый для роста и развития растений спектр освещения.

В двух боковых стенках и на верхней крышке проектируемой фитоустановки выполнены отверстия для притока и удаления воздуха. Поток воздуха, проходящий через данные отверстия, регулируют за счет специальных заслонок. Микровентиляция необходима для контроля и поддержания требуемых температуры и влажности воздуха внутри фитоустановки.

Конструктивная схема спроектированной фитоустановки представлена на рисунке 1.

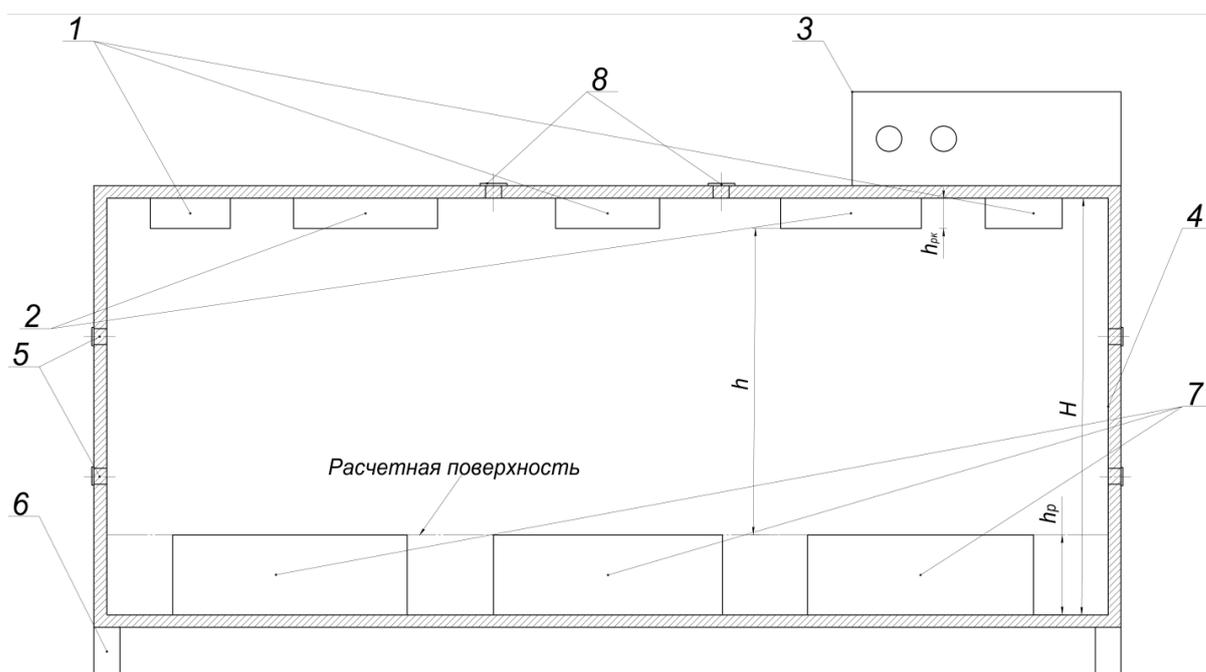


Рис. 1. Конструктивная схема фитоустановки:

- 1 – фитосветильники; 2 – светильники белого света; 3 – блок управления; 4 – каркас устройства;
5 – отверстия микровентиляции; 6 – ножки; 7 – контейнеры для растений; 8 – заслонки

Были проведены расчеты мест расположения светильников в фитоустановке. Для этого были учтены такие параметры, как площадь освещаемой поверхности, уровень освещенности, мощность светильников. В результате были определены параметры расположения светильников. Высота от расчетной поверхности до светильников [9]:

$$h = H - h_p - h_{pk} - h_c, \text{ м}, \quad (1)$$

где H – высота от днища до крышки фитоустановки, м ($H = 0,5$ м);

h_p – высота контейнеров, м ($h_p = 0,22$ м);

h_{pk} – высота светильников, м ($h_{pk} = 0,02$ м);

h_c – высота подвеса светильников, м ($h_c = 0$ м).

Высота подвеса светильников равна нулю, так как светильники прикреплены к верхней крышке и не имеют свеса. В результате

$$h = 0,5 - 0,22 - 0,02 - 0 = 0,26 \text{ м}.$$

Расчет показал, что высота от расчетной поверхности до светильников составляет 0,26 м. Расстояние между светильниками [9]:

$$L = \lambda \cdot h, \text{ м}, \quad (2)$$

где λ – параметрический коэффициент, выбран из справочника ($\lambda = 0,8 \dots 1$) [9]:

$$L = 0,8 \cdot 0,26 = 0,2 \text{ м}.$$

Общее количество светильников

$$N = \frac{B}{L}, \text{ шт.}, \quad (3)$$

где B – ширина фитоустановки, м ($B = 0,950$ м);

$$N = \frac{0,950}{0,2} = 4,75 \text{ шт.}$$

Округляем число светильников в большую сторону, принимаем $N = 5$ шт. Рассчитаем расстояние L_{cb} от крайних рядов светильников до стенок устройства [9]:

$$L_{cb} = 0,5 \cdot L, \text{ м}. \quad (4)$$

В результате

$$L_{cb} = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ м}.$$

Расчет расстояния от крайних рядов светильников до стенок устройства проводят для создания равномерности освещенности.

Расчет светового потока Φ светильников проведем при помощи коэффициента использования светового потока светильников [8]:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{зап} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \text{ Лм}, \quad (5)$$

где E_H – норма освещенности рекомендуемая, лк ($E_H = 16000$ лк) [8];

$K_{зап}$ – коэффициент запаса ($K_{зап} = 1,5$) [9];

z – коэффициент неравномерности освещенности ($z = 1,15$);

S – площадь освещаемой поверхности, м² ($S = 0,467$ м²);

N – число светильников фитосвета и белого света ($N_{фит} = 3$ шт., $N_{бел} = 2$ шт.);

η – коэффициент использования светового потока источника света, для светильников фитосвета и белого света, соответственно, $\eta_{ф} = 0,83$ и $\eta_{б} = 0,81$:

$$\Phi_{фит.} = \frac{\left(\frac{16000}{2}\right) \cdot 1,5 \cdot 0,467 \cdot 1,15}{3 \cdot 0,83} = 2588,2 \text{ Лм}.$$

$$\Phi_{бел.} = \frac{\left(\frac{16000}{2}\right) \cdot 1,5 \cdot 0,467 \cdot 1,15}{2 \cdot 0,81} = 3978 \text{ Лм}.$$

По полученному световому потоку выбраны светодиодные светильники белого света мощностью 24 Вт марки «ДПО-2х12» со световым потоком 4000 Лм [6], и фитосветильники мощностью 30 Вт марки «Uniel U11-P19-30W», световой поток которых равен 2600 Лм, что соответствует фотосинтетическому фотонному потоку 46 мкмоль/с [7].

На рисунке 2 представлены общий вид фитоустановки и ее 3-D модель.



Рис. 2. Фитоустановка:
а – общий вид; б – 3-D модель

Контейнеры с семенами устанавливают в фитоустановку, далее включают светильники белого света и фитосветильники, выставляют необходимые параметры освещения и микроклимата. Производится досвечивание за необходимое время. За счет тепловой энергии светильников создается и поддерживается микроклимат внутри установки. Приток и удаление воздуха происходит через отверстия, расположенные в стенках и крышке фитоустановки. Требуемый воздухообмен системы микровентиляции регулируют за счет специальных заслонок. По истечению времени вегетации собирают выращенный урожай.

Заключение. Проведен подробный обзор и анализ фитоустановок (аналогов), что позволило выявить их недостатки. Эти недостатки были успешно учтены и исправлены при разработке фитоустановки. Была разработана конструктивная схема фитоустановки для выращивания микрозелени и овощных культур и обоснованы ее параметры. Обоснование конструктивной схемы включило в себя определение расположения всех необходимых элементов установки, таких как фитосветильники и светильники белого света, система микровентиляции, регулируемой заслонками, блок управления, а также контейнеры для растений. Выполнены расчеты высоты от расчетной поверхности до светильников, которая составила 0,26 м, расстояния между светильниками – 0,2 м, общего количества светильников – 5 шт. Подобраны светильники марки «Uniel U11-P19-30W» мощностью 30 Вт и «ДПО-2х12» мощностью 24 Вт.

Список источников

1. Васильев С. И., Машков С. В., Сыркин В. А. Комплекс энергосберегающих элементов технологии выращивания овощных культур в контролируемых условиях // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 4(52). С. 10–19.
2. Гроутент «Probox Ecropo» [Электронный ресурс]. URL: https://growell.ru/category/probox-ecropo/?etext=2202.LU6thhBwsMoUJCuHaYwdccv9mJlv86PCwSPqqX3BTGPtiR_Xxe3mUDTEJ5HD620JzMXuyneQgHvuXGqsf1HmVWNmaXhyaHFraGpudm9md20.300eed4fa610222648b5e71703687ac232d19689&yclid=448190242827079160 (дата обращения: 01.08.2023).
3. Фитотрон «ЛиА-2» [Электронный ресурс]. URL: <https://miroborudovaniya.ru/product/fitotron-lia-2-dvuhdvernyj-s-4-mya-svetodiodnymi-panelyami/> (дата обращения: 11.08.2023).
4. Пат. № 49420 РФ, А01G 9/26. Фитотрон / Сапрыкин Л. Г., Гайдуков Е. Н., Сапрыкин Д. Л. № 2013134389/13 ; заявл. 23.07.2013 ; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 21. 7 с.
5. Пат. № 61984 РФ, А01G 9/14. Светодиодный фитоинкубатор (устройство) / Марков В. Н.

№ 2006138995/22 ; заявл. 07.11.2006 ; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9. 11 с.

6. Светильник светодиодный фито света [Электронный ресурс]. URL: <https://uniel.ru/catalog/osveshchenie-dlya-rasteniy-i-ptitsevodstva/svetilniki-dlya-rasteniy/uli-p19-30w-spfb-ip40-white/> (дата обращения: 4.08.2023).

7. Светильники светодиодные белого света [Электронный ресурс]. URL: <https://www.etm.ru/cat/nn/4771963?city=216> (дата обращения: 4.08.2023).

8. Расчет электрического освещения [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.-net/preview/5733972/page:7/> (дата обращения: 6.08.2023).

9. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике. М., 2006. 972 с.

10. Моргунов Д. Н., Васильев С. И. Исследование спектральных характеристик электрических источников света // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 2 (38). С. 5–13.

11. Абиян М. В., Гиш Р. А., Подушин Ю. В. Влияние периода искусственного освещения на формирование рассады салата // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 101 (07). С. 1–12.

12. Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Милехин А. В., Рубцов С. Л. Оптимизация освещения микро-растений картофеля *in vitro* с использованием светодиодных источников // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 92 (6). С. 85–90.

13. Князева И. В., Вершинина О. В., Гудимо В. В., Сорокопудов В. Н. Технологические приемы выращивания мяты и мелисы на вертикальных стеллажах // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. № 11. С. 78–84.

14. Герасимова О. А., Дружинина Е. С., Жуков А. А., Назарова О. В., Тихонов Е. А. Пути активизации роста и развития растений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 10 (204). С. 95–99.

15. Оленин О. А., Зудилин С. Н. Полифункциональные биопрепараты для органического земледелия на основе переработки органических отходов и сырья // Нива Поволжья. 2020. № 4 (57). С. 36–42.

16. Сяпуков Е. Е. Энергетическая и экономическая эффективность регуляторов роста и борной кислоты в технологии сахарной свеклы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 4 (20). С. 20–23.

References

1. Vasiliev, S. I., Mashkov, S. V. & Syrkin, V. A. (2020). Complex of energy-saving elements of technology for growing vegetable crops under controlled conditions. *Vestnik agrarnoj nauki Dona (Don agrarian science bulletin)*, 4 (52), 10–19 (in Russ).

2. Groutant «Probox Ecopro». Retrieved from https://growell.ru/category/probox-ecopro/?etext=2202.LU6thhBwsMoUJCuHaYwdccv9mJlv86PCwSPqqX3BTGPtiR_Xxe3mUDTEJ5HD620JzMXuayneQgHvuXGqsf1HmVWNmaXhyaHFraGpudm9md20.300eed4fa610222648b5e71703687ac232d19689&yclid=448190242827079160 (in Russ).

3. Phytotron «LiA-2». Retrieved from <https://miroborudovaniya.ru/product/fitotron-lia-2-dvuhdvernyj-s-4-mya-svetiodiodnymi-panelyami/> (in Russ).

4. Saprykin, L. G., Gaidukov, E. N. & Saprykin, D. L. (2015). Phytotron. *Patent 49420, Russian Federation, 2013134389/13* (in Russ).

5. Markov, V. N. (2007). LED phytoincubator (device). *Patent 61984, Russian Federation, 2006138995/22* (in Russ).

6. LED phyto light lamp. Retrieved from <https://uniel.ru/catalog/osveshchenie-dlya-rasteniy-i-ptitsevodstva/svetilniki-dlya-rasteniy/uli-p19-30w-spfb-ip40-white/> (in Russ).

7. LED white light lamps. Retrieved from <https://www.etm.ru/cat/nn/4771963?city=216> (in Russ).

8. Calculation of electric lighting. Retrieved from <https://studfile.net/preview/5733972/page:7/> (in Russ).

9. Aizenberg, Yu. B. (2006). *Reference book on lighting engineering*. Moscow (in Russ).

10. Morgunov, D. N. & Vasiliev, S. I. (2017). Study of the Spectral Characteristics of Electric Light Sources. *Vestnik agrarnoj nauki Dona (Don agrarian science bulletin)*, 2 (38), 5–13 (in Russ).

11. Abiyon, M. V., Gish, R. A. & Podushin, Yu. V. (2014). The influence of the period of artificial lighting on the formation of lettuce seedlings. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University)*, 101 (07), 1–12 (in Russ).

12. Bakunov, A. L., Dmitrieva, N. N., Milekhin, A. V. & Rubtsov, S. L. (2021). Optimization of illumination of potato micro-plants *in vitro* using LED sources. *Izvestiia Orenburgskogo GAU (Izvestia Orenburg SAU)*, 92 (6), 85–90 (in Russ).

13. Knyazeva, I. V., Vershinina, O. V., Gudimo, V. V. & Sorokopudov, V. N. (2021). Technological methods of growing mint and lemon balm on vertical racks. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of KrasSAU)*, 11, 78–84 (in Russ).

14. Gerasimova, O. A., Druzhinina, E. S., Zhukov, A. A., Nazarova, O. V. & Tikhonov, E. A. (2021). Ways to activate plant growth and development. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of Altai State Agrarian University)*, 10 (204), 95–99 (in Russ).

15. Olenin, O. A. & Zudilin, S. N. (2020). Multifunctional biological products for organic farming based on processing of organic waste and raw materials. *Niva Povolzh'ia (Niva Povolzhya)*, 4 (57), 36–42 (in Russ).

16. Syapukov, E. E. (2012). Energy and economic efficiency of growth regulators and boric acid in sugar beet technology. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii (Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy)*, 4 (20), 20–23 (in Russ).

Информация об авторах:

С. И. Васильев – кандидат технических наук, доцент;

С. В. Машков – кандидат экономических наук, доцент;

Е. А. Евсеев – аспирант.

Information about the authors:

S. I. Vasiliev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. V. Mashkov – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;

E. A. Evseev – Postgraduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.08.2023; одобрена после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 2.10.2023.

The article was submitted 21.08.2023; approved after reviewing 15.09.2023; accepted for publication 2.10.2023.