

DOI: 10.15593/2224-9400/2024.2.09
УДК 65.011.56

Научная статья

**П.Ю. Сокольчик, С.И. Сташков,
А.Г. Старостин, Е.О. Кузина, А.В. Портнова**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

МОДУЛЬНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

Современный уровень науки и техники, использование сквозных технологий, таких как машинное зрение и элементы искусственного интеллекта, позволяют решать сложные комплексные задачи, в том числе в сельском хозяйстве. К таким задачам относятся задачи выращивания растений в сложных условиях, например, в зонах рискованного земледелия и зонах, где земледелие не предполагается, а также при решении задач освоения Луны и других планет, выращивания сортовых культур и др. В простейшем случае такой модуль может представлять собой роботизированный тепличный комплекс. Применение такого подхода позволяет выращивать растения с минимальным участием человека или исключая его. Такой комплекс может быть интересен для решения как задач выращивания растений в сложных условиях, так и задач утилизации агроотходов без ущерба для окружающей среды с получением дополнительной прибыли. В статье рассматривается создание и устройство автоматизированного модульного агрокомплекса, позволяющего минимизировать контакт растений с окружающей средой. Рассматривается задача синтеза удобрений комплексного действия в рамках замкнутого модуля с дальнейшим дозированием этих удобрений в автоматическом режиме. Рассматривается использование удобрений пролонгированного действия на основе магнийаммонийфосфатного удобрения в форме струвита, получаемого на основе отходов, в том числе сельскохозяйственного происхождения – продуктов жизнедеятельности животноводческих ферм, и производимого с применением реактора в составе предлагаемого модуля. Необходимость внесения удобрений определяется на основе подходов машинного зрения и роботизации с распознаванием сельскохозяйственной ситуации с использованием и анализом изображения, полученного видеокамерой.

Ключевые слова: удобрения, агрокомплекс, система управления, машинное зрение, распознавание.

**P.Iu. Sokolchik, S.I. Stashkov,
A.G. Starostin, A.V. Portnova, O.E. Kuzina,**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

MODULAR ROBOTIC SYSTEM FOR GROWING PLANTS BASED ON COMPLEX FERTILIZERS OF PROLONGED ACTION

The modern level of science and technology, the use of end-to-end technologies, machine vision and elements of artificial intelligence make it possible to solve complex complex tasks. Such tasks are tasks in agriculture. Such tasks include growing plants in difficult conditions. For example, these are areas of risky farming and areas where farming is not expected. Also when solving problems of exploration of the Moon and other planets. In the tasks of cultivating varietal crops, etc. In a simple case, such a module can be a robotic greenhouse complex. Using this approach allows you to grow plants with minimal human involvement or exclude it. Such a complex may be interesting for solving the problems of growing plants in difficult conditions and the tasks of recycling agricultural stocks. Agrostocks are disposed of without harm to the environment and with additional profit. The article discusses the creation and installation of an automated modular agricultural complex. the complex allows you to minimize the contact of plants with the environment. The article considers the task of synthesizing fertilizers of complex action within a closed module with further dosing of these fertilizers in automatic mode. The article discusses the use of long-acting fertilizers based on magnesium ammonium phosphate fertilizer in the form of struvite. Struvite is produced on the basis of waste, including agricultural origin. These are the waste products of livestock farms. Struvite is produced using a reactor, which is part of the proposed module. The need for fertilization is determined based on machine vision and robotics approaches with recognition of the agricultural situation. The situation is recognized using the images obtained by the video camera and their analysis.

Keywords: *fertilizers, agrocomplex, control system, machine vision, recognition.*

Современные агрокомплексы представляют собой высокотехнологические системы с высоким уровнем роботизации и автоматизации [1–9]. Кроме того, агрокомплексы должны стремиться к безотходному процессу растениеводства и животноводства, в самом идеальном случае, реализуя замкнутые циклы в сельском хозяйстве. Актуальной становится возможность использования вторичных ресурсов в качестве сырья для приготовления удобрений для растений. В типовом методе хозяйствования агростоки и сельскохозяйственные стоки подлежат утилизации, что экономически нецелесообразно, а внесение питательного раствора к растениям осуществляется, как правило, через определенные заранее установленные интервалы времени, не учитывая особенности роста растений.

Предложена автоматизированная система для выращивания растений с применением автоматизированных средств жизнеобеспечения растений, в которой решаются две задачи: приготовление удобрений из агростоков и применение этих удобрений для подкормки растений в автоматическом режиме [10].

Система представлена в виде автоматизированного тепличного комплекса. Для решения задачи синтеза удобрений используется реактор, в котором агро- и сельхозстоки в процессе химической реакции превращаются в комплексное магнийаммонийфосфатное удобрение – струвит [11–15]. Распределение струвита к растениям реализуется автоматизированной системой.

Такая система хорошо подходит для реализации замкнутых тепличных комплексов для выращивания растений, требующих постоянного наблюдения за их состоянием, например, подготовка сортовых растений.

Структурная схема автоматизированной система жизнеобеспечения для выращивания растений представлена на рис. 1. Система содержит блоки: реактор 1 для получения удобрения – магнийаммонийфосфата (струвита), устройство подготовки питательной суспензии 2 на основе струвита, промежуточный резервуар для питательной суспензии 3. Система включает устройство видеонаблюдения 5 и устройство дозированной подачи питательного раствора к корням растений 4 которые размещены на автономной роботизированной тележке 6. Выход устройства видеонаблюдения 6 соединен с входом устройства управления 7.

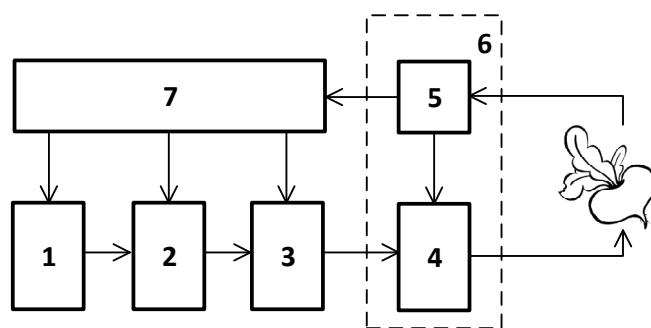


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной система жизнеобеспечения для выращивания растений: 1 – реактор синтеза струвита; 2 – устройство подготовки питательного раствора; 3 – промежуточный резервуар для питательной суспензии; 4 – устройство дозированной подачи питательной суспензии; 5 – устройство видеонаблюдения; 6 – роботизированная тележка; 7 – устройства управления

В реактор загружают агростоки и/или сельскохозяйственные стоки, которые в процессе химической реакции превращаются в удобрение – магнийаммонийфосфатное удобрение – струвит. Произведенное в реакторе удобрение поступает в устройство подготовки питательного раствора, в котором нерастворимое и/или малорастворимое удобрение (струвит) переводится в форму суспензии. Суспензия поступает в промежуточный резервуар и далее в устройство дозированной подачи к корням растений.

Факт необходимости внесения струвита к корням растений и область, куда их нужно подвести, вычисляется на основе цвета листьев, который фиксируется видеокамерой. Видеокамера формирует оперативный сигнал, который передается на устройство управления (контроллер). Применение устройства управления с функцией распознавания сельскохозяйственной ситуации исключает необоснованную избыточность приготавливаемого питательного раствора.

Такая система может быть оформлена в виде автономного тепличного комплекса, схема которого представлена на рис. 2.

Теплица 1, в которой не должно вноситься естественных добавок (торф, навоз и пр.), чтобы не внести патогены. У теплицы предусмотрен отдельный служебный тамбур 2, разделенный на две секции. В первой секции 3 расположено технологическое оборудование. Во второй секции 4 расположено устройство управления 5 подачей удобрения к корням растений. Технологическое оборудование представляет собой реактор синтеза комплексного удобрения (струвита) 6 и устройство подготовки питательного раствора 7. Реактор 6 представляет собой непосредственно емкостной аппарат, в котором проходит реакция синтеза комплексного удобрения (струвита). Реагенты подаются в реактор 6 насосами из расходных емкостей. Насос 8 подает из емкости 9 агростоки, насос 10 подает из емкости 11 щелочь, насос 12 подает из емкости 13 хлорид магния. После завершения реакции струвит в виде суспензии перекачивается насосом 14 из реактора 6 в устройство подготовки питательного раствора 7. Устройство подготовки питательного раствора 7 представляет собой емкость с мешалкой. Устройство подачи питательного раствора к устройству дозированной подачи питательного раствора к корням растений представляет собой насос центробежного действия 15 и гибкого шланга высокого давления 16, который забирает суспензию из емкости с мешалкой и подает ее в устройство дозированной подачи питательного раствора к корням растений, расположенное на автономной роботизированной тележке 17.

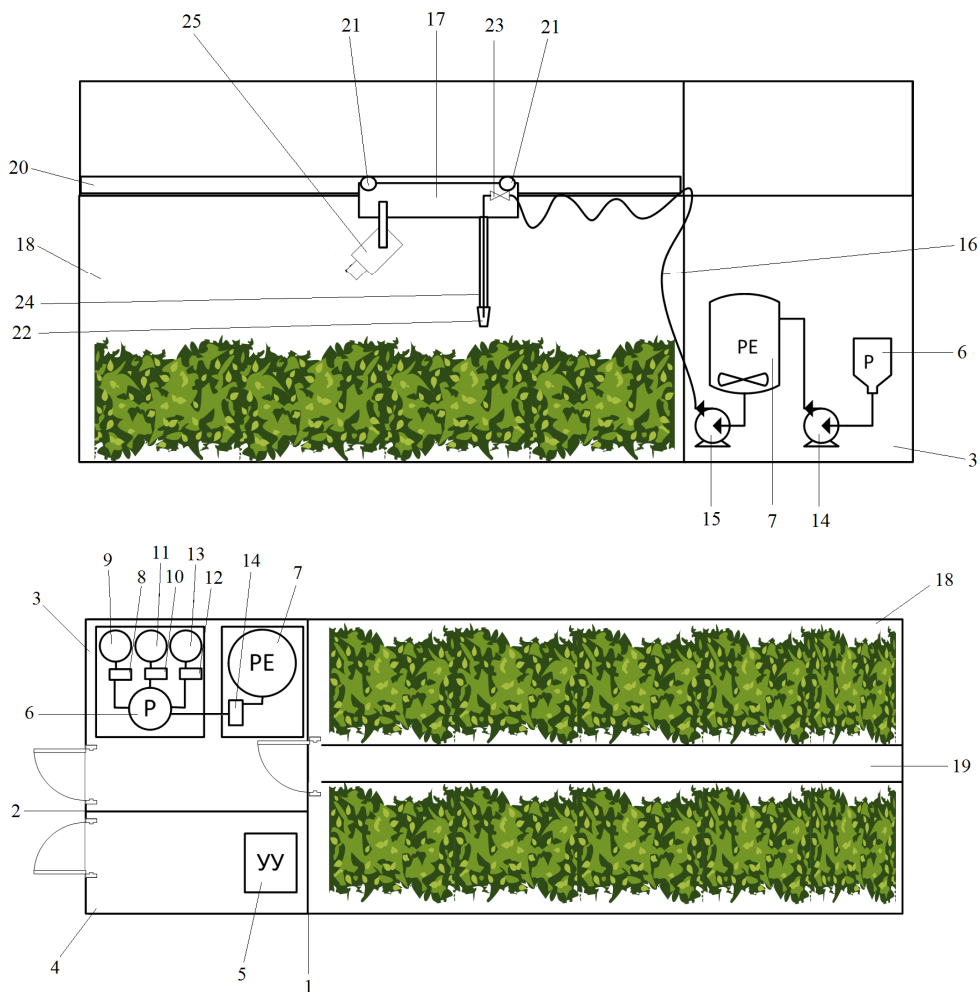


Рис. 2. Схема закрытого тепличного комплекса: 1 – закрытый тепличный комплекс; 2 – служебный тамбур; 3 – первая секция; 4 – вторая секция; 5 – устройство управления; 6 – реактор синтеза комплексного удобрения (струвита); 7 – устройство подготовки питательного раствора; 8 – насос; 9 – емкость с агростоками; 10 – насос; 11 – емкость с щелочью; 12 – насос; 13 – емкость с хлоридом магния; 14 – насос; 15 – насос центробежного действия; 16 – шланг высокого давления; 17 – автономная роботизированная тележка; 18 – третья секция – агросекция; 19 – дорожка для обслуживающего персонала; 20 – направляющие (рельсы); 21 – колеса; 22 – форсунка; 23 – соленоидный клапан; 24 – штанга; 25 – устройство видеонаблюдения

Во второй секции 4 расположено устройство управления 5 подачи комплексного удобрения к корням растений. В частности устройство управления 5 реализовано на базе микропроцессорного контроллера. В третьей секции – агросекции 18 – расположено основное пространство

тепличного комплекса 1, в которой реализуются непосредственно посадки растений в почву. Между посадок вдоль теплицы располагается дорожка 19 для обслуживающего персонала. На стенах тепличного комплекса закреплены направляющие (рельсы) 20, по которым перемещается автономная роботизированная тележка 17, имеющая две степени свободы перемещения – вдоль направляющих 20 и поперек их.

Автономная роботизированная тележка 17 снабжена колесами 21, вращаемыми электродвигателями, с помощью которых перемещается в продольном и поперечном направлениях. Автономная роботизированная тележка снабжена устройством дозированной подачи питательного раствора к корням растений, которое представляет собой форсунку 22 с соленоидным клапаном 23. Форсунка расположена на штанге 24, спускающейся от тележки максимально близко к растениям. Автономная роботизированная тележка 17 снабжена устройством видеонаблюдения 25, которое представляет собой промышленную видеокамеру, соединенную с устройством управления 5 гибким кабелем.

Работа данного тепличного комплекса осуществляется следующим образом. Исходные для производства комплексного удобрения реагенты загружаются в накопительные емкости. По мере необходимости они насосами подаются в реактор периодического действия, в котором синтезируется комплексное удобрение струвит. После окончания реакции синтезированный струвит в форме суспензии насосом выгружается в накопительную емкость с мешалкой, в которой может находиться продолжительное время.

Автономная тележка в агросекции по команде устройства управления проходит последовательно над рядами высаженных растений. При этом промышленная видеокамера получает оптолептический образ растений, который по информационному кабелю поступает на устройство управления.

Устройство управления на основе оптолептической информации определяет сельскохозяйственную ситуацию, а именно – недостаток в растениях определенных веществ. В случае, если установлен недостаток этих веществ, производится операция дозирования суспензии струвита к корням растений.

Операция дозирования осуществляется следующим образом. Включается центробежный насос, который под давлением нагнетает суспензию струвита в шланг высокого давления, соединяющий насос с тележкой. Тележка под действием управляющего устройства позицио-

нируется над выбранным растением. В нужный момент времени по команде управляющего устройства открывается соленоидный клапан, и из форсунки осуществляется впрыск струей дозы суспензии струвита в корневую зону растений сверху вниз.

Также с помощью команд устройства управления осуществляется управление всем технологическим оборудованием – реактором, мешалкой и всеми насосами.

По мере опустошения накопительной емкости процесс синтеза повторяется. В ходе роста растений операция подкормки растений также периодически повторяется.

Приведенный подход может применяться для широкого класса сельскохозяйственных культур. Основные преимущества такого подхода – уменьшение количества вредных стоков, экономия удобрения с возможностью обеспечения замкнутого цикла выращивания.

Список литературы

1. Роботизированный автономный модуль для выращивания растений на искусственных средах с применением автоматизированных средств жизнеобеспечения растений на всех стадиях выращивания: пат. 2748379 Рос. Федерация, МПК А01G 31/02. / Левин Б.Г., Пасечник С.В. – № 2020131637; заявл. 25.09.2020; опубл. 25.05.2021.
2. Способ интеллектуального управления выращиванием и интеллектуальное устройство для выращивания: пат. № 2688234 Рос. Федерация, МПК G06Q 10/06. / Сюй Ц. – № 2017145656; заявл. 25.12.2017; опубл. 21.05.2017.
3. Автономный транспортный модуль на базе ISO-контейнера для выращивания растений: пат. 2720919 Рос. Федерация, МПК А01G 31/02 / Левин Б.Г., Пасечный С.В. – № 2019143989; заявл. 26.12.2019; опубл. 14.05.2020.
4. Биоэнергетический комплекс: пат. 2446672 Рос. Федерация, МПК А01G 9/14, А01K 31/00 / Жеребцов А.В., Самойлов В.И., Ефимов О.П., Жеребцов П.В. – № 2010144151/13; заявл. 29.04.2019; опубл. 10.04.2012.
5. Климатическая камера для выращивания растений: пат. 2739604 Рос. Федерация, МПК А01G 9/24 / Дорохов А.С., Чилингарян Н.О., Гришин А.П., Гришин А.А., Дорохов А.А., Смирнов А.А. – № 2020126041; заявл. 05.08.2020; опубл. 28.12.2020.
6. Комплекс для производства растительной продукции: пат. 2616396 Рос. Федерация, МПК А01G 31/02, А01G 9/22, F03D 9/20 / Фенюк Э.О., Багутдинова Г.Р. – № 2015140740; заявл. 24.09.2015; опубл. 14.04.2017.
7. Модульная аэропонная установка: пат. 2772711 Рос. Федерация, МПК А01G 31/02 / Крюков А.М. – № 2021127029; заявл. 30.06.2021; опубл. 24.05.2022.

8. Устройство для совместного выращивания гидробионтов и растений: полез. мод. 157255 Рос. Федерация, МПК А01G 31/00 / Андреева Н.В., Андреев В.К. – № 2015127883/13; заявл. 10.07.2015; опубл. 27.11.2015.

9. Вегетационная установка: полез. мод. 132309 Рос. Федерация, МПК А01G 9/24 / Ракутько С.А., Пацуков А.Э., Мишанов А.П. – № 2013118272/13; заявл. 19.04.2013; опубл. 20.09.2013.

10. Роботизированная система для выращивания растений с применением автоматизированных средств жизнеобеспечения растений: пат. 2796947 Рос. Федерация, МПК А01G 31/02, А01G 9/24 / Кузина Е.О., Портнова А.В., Сокольчик П.Ю., Старостин А.Г., Шашков С.И. – № 2022125436; заявл. 29.09.2022; опубл. 29.05.2023.

11. Способы получения струвита из сточных вод / А.А. Яковлева, Р.А. Азмагова, О.А. Федотова, А.Г. Старостин, В.З. Пойлов // Химия. Экология. Урбанистика: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – Т. 2. – С. 474–478.

12. Лобанов, С.А. Технология выделения и утилизации аммонийного азота из сточных вод химических предприятий: дис. ... канд. техн. наук / С.А. Лобанов. – Пермь, 2007. – 111 с.

13. Способ извлечения магнийаммонийфосфата из сточных вод: пат. 2775771 Рос. Федерация, МПК С02F 1/58 / Старостин А.Г., Кобелева А.Р., Портнова А.В. – № 2021135861; заявл. 07.12.2021; опубл. 08.07.2022.

14. Ревво А.В., Студенок А.Г., Студенок Г.А. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий // Известия Уральского государственного горного университета. – 2013. – № 2. – С. 26–29.

15. Способ извлечения магнийаммонийфосфата из сточных вод: пат. 2792126 Рос. Федерация, МПК С02F 1/58./ Старостин А.Г., Кузина Е.О., Косухина А.И. – № 2022124825; заявл. 28.12.2022; опубл. 16.03.2023.

References

1. B.G.Levin, S.V.Pasechnik Robotizirovanny`j avtonomny`j modul` dlya vy`rashhivaniya rastenij na iskusstvenny`x sredax s primeneniem avtomatizirovanny`x sredstv zhizneobespecheniya rastenij na vsekh stadiyax vy`rashhivaniya [A robotic autonomous module for growing plants in artificial environments using automated plant life support tools at all stages of cultivation]: Patent no. 2748379 (2021).

2. Cz.Syuj Sposob intellektual`nogo upravleniya vy`rashhivaniem i intellektual`noe ustrojstvo dlya vy`rashhivaniya [Intelligent cultivation management method and intelligent cultivation device]. Patent no. 2688234 (2017).

3. B.G.Levin, S.V.Pasechny`j Avtonomny`j transportny`j modul` na baze ISO-kontejnera dlya vy`rashhivaniya rastenij [An autonomous transport module based on an ISO container for growing plants]. Patent no. 2720919 (2019)

4. A.V.Zherebczov, V.I.Samojlov, O.P.Efimov, P.V.Zherebczov Bioenergeticheskij kompleks [Bioenergy complex]. Patent no. 2446672 (2012).

5. A.S.Doroxov, N.O.Chilingaryan, A.P.grishin, A.A.Grishin, A.A. Doroxov, A.A. Smirnov Klimaticheskaya kamera dlya vy`rashhivaniya rastenij [Climate chamber for growing plants] Patent no. 2739604 (2020).

6. E.O.Fenyuk, G.R.Bagautdinova Kompleks dlya proizvodstva rastitel`noj produkcii [A complex for the production of plant products] Patent no. 2616396 (2015).

7. A.M.Kryukov Modul`naya aeroponnaya ustanovka [Modular aeroponic installation] Patent no. 2772711 (2021).

8. Poleznaya model` №157255. Ustrojstvo dlya sovместnogo vy`rashhivaniya gidrobiontov i rastenij: №2015127883: zayavl. 10.07.2015: opubl. 27.11.2015 / N.V. Andreeva, V.K. Andreev; zayavitel`, patentoobladatel` FGBOU VO RGAU MSXA. P.2.

9. Poleznaya model` №132309. Vegetacionnaya ustanovka: №2013118272: zayavl. 19.04.2013: opubl. 20.09.2013 / S.A.Rakut`ko, A.E`Pacukov, A.P. Mishanov; zayavitel`, patentoobladatel` Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Severo-Zapadny`j nauchno-issledovatel`skij institut mexanizacii i e`lektrifikacii sel`skogo xozyajstva Rossel`hozakademii. P.2.

10. E.O.Kuzina, A.V.Portnova, P.Yu.Sokol`chik, A.G.Starostin, S.I. Stashkov Robotizirovannaya sistema dlya vy`rashhivaniya rastenij s primeneniem avtomatizirovanny`x sredstv zhizneobespecheniya rastenij [A robotic system for growing plants using automated plant life support equipment] Patent no. 2796947 (2023)

11. Yakovleva A.A., Azmatova R.A., Fedotova O.A., Starostin A.G., Pojlov V.Z. Sposoby` polucheniya struvita iz stochny`x vod [Methods of obtaining struvite from wastewater] *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsia molodykh uchennykh, aspirantov, studentov i shkol'nikov (s mezhdunarodnym uchastiem) «Khimiia. Ekologiya. Urbanistika»*, Perm, PNIPU, 2019, vol.2, pp. 474-478.

12. Lobanov S.A. Tekhnologiya vy`deleniya i utilizacii ammonijnogo azota iz stochny`x vod ximicheskix predpriyatij [Technology of extraction and utilization of ammonium nitrogen from wastewater of chemical enterprises] Ph. D. thesis. Perm. 2017. P.111.

13. A.G.Starostin, A.R.Kobeleva, A.V.Portnova Sposob izvlecheniya magnij-ammonij-fosfata iz stochny`x vod [Method of extraction of magnesium-ammonium-phosphate from wastewater] Patent no. 2775771 (2022).

14. Revvo A.V., Studenok A.G., Studenok G.A. Ocenka metodov ochistki stochny`x vod ot soedinenij azota dlya drenazhny`x vod gorny`x predpriyatij [Evaluation of wastewater treatment methods from nitrogen compounds for drainage waters of mining enterprises] *Izvestiya Ural`skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2013, vol.2. – pp. 26–29.

15. A.G.Starostin, E.O.Kuzina, A.I.Kosuxina Sposob izvlecheniya magnij-ammonij-fosfata iz stochny`x vod [Method of extraction of magnesium-ammonium-phosphate from wastewater] Patent no. 2792126 (2023).

Об авторах

Сокольчик Павел Юрьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: e-mail: psokol@pstu.ru).

Сташков Сергей Игоревич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: e-mail: sergey.stashkov@pstu.ru).

Старостин Андрей Георгиевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: starostin26@yandex.ru).

Кузина Евгения Олеговна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: zena322myname@mail.ru).

Портнова Анна Владимировна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: annysky2002@mail.ru).

About authors

Pavel Yu. Sokol'chik (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of equipment and automation of the chemical plant, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: psokol@pstu.ru).

Sergey I. Stashkov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of equipment and automation of the chemical plant, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: sergey.stashkov@pstu.ru).

Andrej G. Starostin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: starostin26@yandex.ru).

Evgeniya O. Kuzina (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: zena322myname@mail.ru).

Anna V. Portnova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: annysky2002@mail.ru).

Поступила: 27.04.2024

Одобрена: 02.06.2024

Принята к публикации: 13.06.2024

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Модульная роботизированная система для выращивания растений на основе комплексных удобрений пролонгированного действия / П.Ю. Сокольчик, С.И. Сташков, А.Г. Старостин, Е.О. Кузина, А.В. Портнова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2024. – № 2. – С. 122–132.

Please cite this article in English as:

Sokolchik P.Iu., Stashkov S.I., Starostin A.G., Portnova A.V., Kuzina O.E. Modular robotic system for growing plants based on complex fertilizers of prolonged action. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2024, no. 2, pp. 122-132 (*In Russ*).