

Научная статья
УДК 004.716:631
doi: 10.17586/2713-1874-2022-4-4-11

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ФЕРМЕРСТВА

*Ксения Андреевна Сацюк¹, Игорь Александрович Кудинов²,
Любовь Владимировна Силакова³*

¹ООО «Гринери», sacyukksenia@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1570-6132>

^{2,3}Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

²kudinov@itmo.ru

³silakovalv@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2836-1281>

Язык статьи – русский

Аннотация: В статье рассматривается вопрос оценки и повышения эффективности использования имеющихся ресурсов на предприятиях АПК за счет совершенствования технологии вертикального фермерства на основе внедрения систем управления микроклиматом и сбора данных о процессах. Благодаря внедрению систем управления микроклиматом в мировой практике распространяется применение вертикального земледелия, так как оно позволяет получать больше продукции с меньшей площади выращивания, повышать качество (безопасность) продукции и выращивать урожай круглый год, вне зависимости от условий окружающей среды.

В данной работе представлен анализ современной отрасли вертикального фермерства и дана оценка влияния систем управления на развитие мирового вертикального фермерства. С помощью проведенного анализа была показана эффективность автоматизации вертикальных ферм.

Ключевые слова: автономное управление, вертикальное фермерство, интернет вещей, управление микроклиматом, цифровые технологии

Ссылка для цитирования: Сацюк К.А., Кудинов И.А., Силакова Л.В. Повышение эффективности использования ресурсов на предприятиях АПК на основе технологии вертикального фермерства // Экономика. Право. Инновации. 2022. № 4. С. 4–11. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2022-4-4-11>.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF RESOURCE USE AT AGRICULTURAL ENTERPRISES BASED ON VERTICAL FARMING TECHNOLOGY

Ksenia A. Sacyuk¹, Igor A. Kudinov², Liubov V. Silakova³

¹Greenery LLC, sacyukksenia@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1570-6132>

^{2,3}ITMO University, Saint Petersburg, Russia

²kudinov@itmo.ru

³silakovalv@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2836-1281>

Article in Russian

Abstract: The article considers the issue of assessing and improving the efficiency of using available resources at agricultural enterprises by improving the technology of vertical farming based on the introduction of microclimate management systems and data collection on processes. Due to the usage of microclimate management systems, the use of vertical farming is spreading in world practice. As it allows companies to get more products from a smaller growing area, improve the quality (safety) of products and grow crops all year round, regardless of environmental conditions.

This paper presents an analysis of the modern vertical farming industry and assesses the impact of management systems on the development of vertical farming.

Keywords: autonomous control, digital technologies, microclimate management, the Internet of Things, vertical farming

For citation: Sacyuk K.A., Kudinov I.A., Silakova L.V. Improving the Efficiency of Resource Use at Agricultural Enterprises Based on Vertical Farming Technology. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2022. No. 4. pp. 4–11. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2022-4-4-11>.

Введение. Вертикальное земледелие представляет собой технологию выращивания сельскохозяйственных культур в помещении с контролируемым микроклиматом на вертикальных стеллажах. Такими сельскохозяйственными культурами являются: листовые овощи (салат латук, шпинат, романо), микрозелень (руккола, подсолнечник, мизуна, горчица), травы (базилик, майоран, мята, розмарин, орегано, стевия), овощи (помидоры, клубника) и съедобные цветы (львиный зев, бархатцы, гвоздика). Современная система вертикального выращивания предполагает обеспечение полностью контролируемой среды, где каждый технический параметр находится под контролем и адаптируется к потребностям сельскохозяйственных культур. Несмотря на то, что данная технология пока не может полностью заменить валовое земледелие (выращивание зерновых и масличных культур), она способна составить серьезную конкуренцию тепличным технологиям, основываясь на сравнении технологий выращивания, представленных в обзоре [1].

Наряду с обеспечением продовольственной безопасности вертикальное фермерство способно содействовать решению таких глобальных проблем, как: выбросы парниковых газов, потребление воды, деградация почвы, загрязнение окружающей среды пестицидами и углекислым газом вследствие транспортировки продуктов питания. Эти эффекты достижимы за счет таких стратегий применения технологий вертикального земледелия, как: выращивание без почвы, повторное использование воды, тщательный контроль в помещении и локальное выращивание [2].

Эффективное использование перечисленных выше стратегий во многом зависит от степени отлаженности процессов управления микроклиматом на вертикальной ферме. Например, технологии интернета вещей позволяют использовать различные типы датчиков для сбора данных об условиях выращивания и подключения их к Интернету для контроля процессов на вертикальной ферме. Благодаря этому можно использовать автономное управление, которое после обработки данных способно поддерживать параметры для создания оптимальных условий выращивания.

Развитие систем управления микроклиматом на вертикальных фермах в дальнейшем позволит прогнозировать урожайность и сроки опыления, проводить аналитику больших данных для контроля болезней возделываемых культур, а также более эффективно использовать площадь выращивания и электроэнергию.

Постановка задачи (Цель исследования). Целью исследования является оценка эффективности автоматизации вертикального фермерства при использовании систем управления микроклиматом.

Методика исследования. Объектом исследования является вертикальная ферма Greenery, предметом исследования – эффекты от автоматизации вертикального фермерства. Среди задач выделяются: анализ и характеристика вертикального фермерства и применяемых технологических решений; сравнительный анализ систем неавтономного и автономного управления на вертикальной ферме; сбор данных наблюдения за выращиванием сельскохозяйственных культур и анализ результатов автоматизации вертикального земледелия, а также SWOT-анализ систем управления микроклиматом и оценка эффектов от внедрения технологий автоматизации при управлении микроклиматом на примере вертикальной фермы Greenery.

В работе использовались данные о посадках и собранном урожае за период с сентября 2020 года по октябрь 2021 года. Методологическая база данного исследования заключается в использовании экспериментальных и общенаучных методов исследования, в том числе методов систематизации, обобщения, анализа и синтеза. Для рассмотрения практических аспектов применения систем управления микроклиматом использовался SWOT-анализ влияния цифровых технологий на вертикальную ферму. Основу исследования составили данные о бизнес-процессах развития вертикального выращивания.

Полученные результаты.

Распространение технологий вертикального фермерства. Вертикальная культивация представляет собой подход, в котором для выращивания культур используются информационные и коммуникационные технологии. Целью данного подхода является

повышение устойчивости, прибыльности и экологической безопасности сельского хозяйства [3, С. 1].

Эксперты очень оптимистично оценивают перспективы вертикального земледелия. По данным Markets and Markets, мировой рынок вертикальных ферм оценивается в 7,3 млрд долларов к 2025 году (при среднегодовом темпе роста 20%), прогнозируется рост к 2026 году до 20 млрд долларов, а к 2030 году – до 50 млрд долларов, согласно оценкам инвестиционного банка Barclays [4, 5].

Использование высокотехнологичных вертикальных ферм, включающих системы управления микроклиматом, значительно варьируется от страны к стране. Самые высокие показатели использования таких ферм в США (41%) и Китае (24%).

В настоящее время США являются наиболее развитой страной в области устойчивого производства овощей, ягод и фруктов на основе технологии автоматизированных вертикальных ферм. А тоже время в Европе и Китае отмечен существенный рост интереса и активизация усилий по развитию технологий вертикальных ферм и созданию производственных комплексов в крупных городах. Данное наблюдение основано на исследовании [6, С. 2], которое согласуется с наблюдениями и других авторов [7–10].

В последнее время также отмечается существенный рост интереса инвесторов к теме вертикального фермерства. Aero Farms,

одна из первых компаний на рынке вертикального земледелия, уже привлекла более 238 млн долларов инвестиций. Стоимость компании, согласно презентации, представленной инвесторам, оценивается в 800 млн долларов. Технологии, используемые в компании, позволяют собирать около 25 урожаев в год и производить почти в 400 раз больше продукции с квадратного метра, чем традиционная технология выращивания. Компания Plenty, также осуществляющая разработки в области вертикального фермерства, недавно привлекла около 630 млн долларов. Среди ее крупнейших инвесторов – Джефф Безос (Amazon) и Эрик Шмидт (Google), последняя оценка компании составила более 1 млрд долларов. По мнению большинства экспертов рынка, ожидается дальнейший ежегодный рост и ускорение темпов роста инвестиции в сектор вертикальных ферм [8].

Опрос, проведенный в работе [9], показал, что в настоящее время на большинстве представленных вертикальных фермах используются почвенные технологии выращивания растений (41%) или гидропоника (38%). А наиболее популярными производственными технологическими решениями являются: использование оборотной воды (30%), полностью контролируемый микроклимат (21%) и использование солнечной энергии (19%). Основные стратегии по результатам опроса представлены на Рисунке 1.

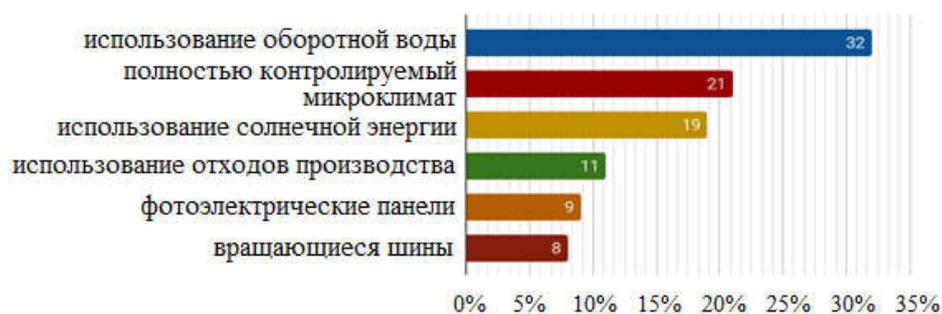


Рисунок 1 – Основные технологические решения, используемые в вертикальных фермах [9]

Вертикальные фермы могут открыть новые возможности в решении проблемы доступности свежих фруктов и овощей в странах со сложными природно-климатическими условиями. Своевременное предоставление

информации, технологии сбора, хранения и обработки данных, мобильные устройства и системы автоматизированного управления уже сейчас играют важную роль в обеспечении продовольственной безопасности и ре-

шении основных проблем вертикального выращивания [10, 11].

В вертикальном земледелии технологии помогают контролировать такие параметры, как: солнечный свет, температура окружающей среды, влажность почвы и влажность в помещении. Поэтому технологии Интернет вещей, использующий датчики контроля

температуры, влажности, газового состава воздуха и содержания питательных веществ, играют ключевую роль в мониторинге, контроле и предоставлении информации о состоянии урожая вертикальной фермы [12]. Основные типы данных, собираемых с помощью датчиков в вертикальном земледелии, показаны на Рисунке 2:

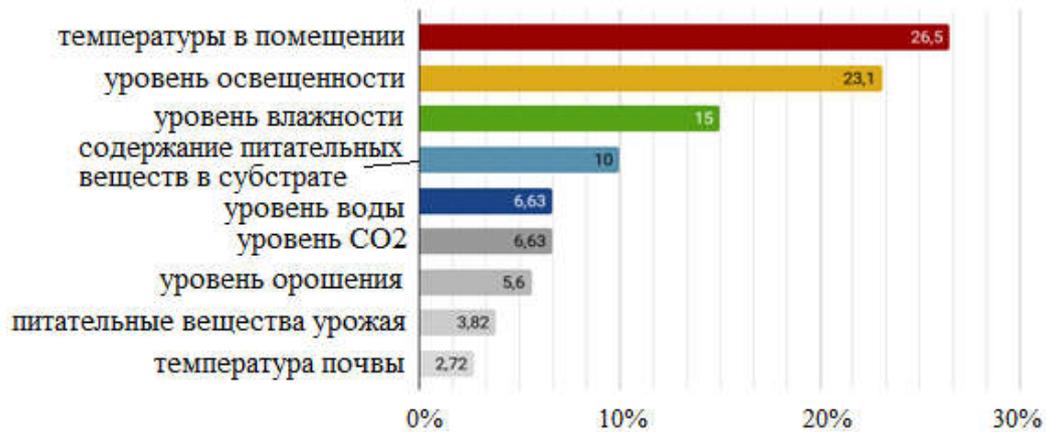


Рисунок 2 – Типы данных, собираемых на вертикальных фермах [13]

Датчики в основном используются для измерения температуры в помещении (26,5%), уровня освещенности (23,1%), уровня влажности (15%) и содержания питательных веществ в субстрате (10%) [13].

Технология Интернета вещей в совокупности с автономным управлением позволяют организовать полностью контролируемый

микроклимат в помещении вертикальной фермы, что дает возможность регулировать и контролировать абсолютно все параметры для оптимизации работы. Однако, как и любая другая система, система управления микроклиматом имеет свои сильные и слабые стороны, они представлены в сравнительной Таблице 1 [14].

Таблица 1

Сравнение систем неавтономного и автономного управления на вертикальной ферме

(Составлена авторами)

Параметр сравнения	Неавтономные системы	Автономные системы
Простота реализации	Да	Нет
Стоимость внедрения и обслуживания	Низкая	Высокая
Время простоя сети	Нет	Да
Угрозы безопасности данных	Очень низкие	Высокие
Конфиденциальность данных	Высокая	Низкая
Проблемы плохой доступности IP-сети	Нет	Да
Потеря информации	Низкая	Средняя
Принятие решений в режиме реального времени	Нет	Да

Оценка влияния автоматизации на управление микроклиматом. На примере российской вертикальной фермы Greenery проведена оценка влияния использования технологий автоматизации при управлении микроклиматом. Ассортимент продукции включает в себя микрозелень (амарант, горох, рукола, кервель, кольраби, редис санго), листовые овощи (романо, салат латук, мангольд желтый, мангольд красный, щавель, шпинат) и съедобные цветы.

Выбранная технология выращивания – гидропоника с системой периодического затопления (питательный водный раствор подается снизу, вытесняя воздух и создавая восходящий поток, тем самым освежая прикорневую зону и доставляя питательные вещества растениям).

Процесс выращивания включает в себя этапы замачивания, проращивания и выращивания. Климатические условия в помещениях вертикальной фермы поддерживаются с

помощью систем приточно-вытяжной вентиляции, систем внутренней циркуляции воздушных масс, кондиционирования воздуха и систем осушения воздуха. На производстве предусмотрен контроль температуры с помощью датчиков и контроль уровня влажности с помощью датчиков, встроенных в осушительное оборудование.

Так как ассортимент выращиваемых на вертикальной ферме Greenery культур постоянно менялся (согласно фактическим данным об урожае с сентября 2020 года), было принято решение выбрать в качестве экспериментальных данных только те культуры, которые присутствовали в ассортименте выращивания наиболее продолжительное время.

Таким образом, данные о плановом и фактическом урожае выбранных культур были собраны в общую таблицу, и по ней был подготовлен график, представленный на Рисунке 3.

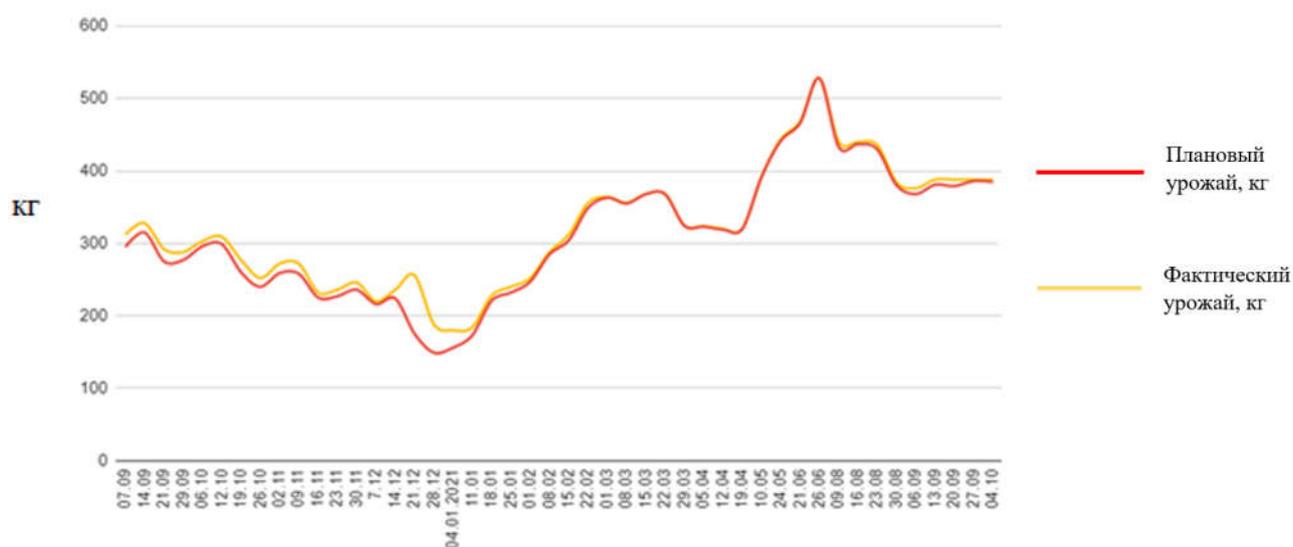


Рисунок 3 – Данные о плановом и фактическом урожае фермы Greenery в период с 07.09.2020 по 04.10.2021 (составлен авторами)

С помощью полученных данных был определен период, за который произошли наибольшие потери фактического урожая по сравнению с плановыми данными. Опрос специалистов вертикальной фермы Greenery подтвердил, что в период с 14 по 21 декабря произошел сбой в системе полива, о котором стало известно не сразу, что привело к существенному падению урожайности, росту уровня влажности в помещении и значи-

тельному превышению фактических потерь выращенной продукции над плановыми показателями потерь. Далее, на основе отношения общего числа посаженных культур к собранным культурам были рассчитаны фактические превышения потерь выращенной продукции над плановыми за определенный выше период и был составлен график превышения фактических потерь над плановыми, который представлен далее на Рисунке 4.

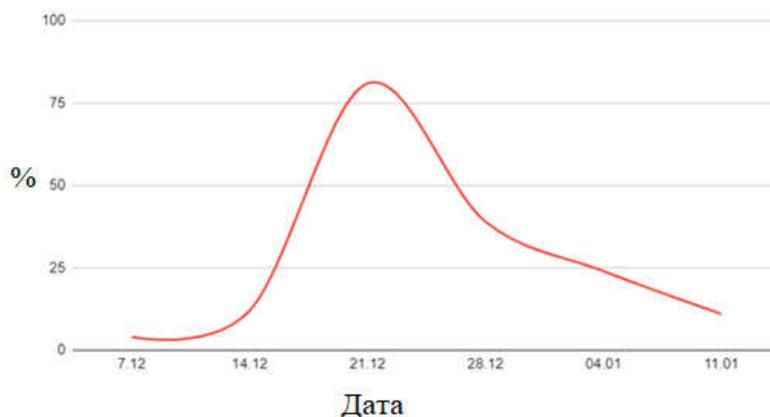


Рисунок 4 – Превышение фактических потерь продукции над плановыми потерями в период с 07.12.2020 по 11.01.2021 (составлен авторами)

Потери продукции в пересчете составили 20%. Данный результат подтверждает, что использование системы управления микроклиматом снижает потери продукции минимум на 20%, исключая потери, связанные с отказом оборудования. Для подтверждения полученных результатов дополнительно был проведен

SWOT-анализ влияния цифровых технологий на вертикальную ферму, который представлен в Таблице 2. Был подтвержден высокий риск выхода из строя одного из компонентов системы (в данном случае системы полива). Решить эту проблему может высокая степень автоматизации.

Таблица 2

SWOT-анализ систем управления микроклиматом

СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ	СЛАБЫЕ СТОРОНЫ
<p>Снижение затрат и использования ресурсов. Огромный потенциал для роста и инвестиций.</p> <p>Снижение потерь продукта.</p> <p>Снижение затрат на транспортировку продукции.</p> <p>Повышение безопасности продукции.</p> <p>Культивирование происходит вне зависимости от факторов внешней среды.</p> <p>Производство безопасно для окружающей среды.</p> <p>Снижение влияния человеческого фактора и трудозатрат.</p>	<p>Стандарты использования датчиков все еще разрабатываются.</p> <p>Требует высокоточного контроля.</p> <p>Эксплуатационные расходы высоки.</p> <p>Необходимо организовать планирование на длительный период времени.</p> <p>Выращивание нескольких сортов сельскохозяйственных культур сопряжено с трудностями и высокими затратами.</p> <p>Не все культуры рентабельны для выращивания.</p> <p>Отсутствие специализированного общедоступного программного обеспечения.</p>
ВОЗМОЖНОСТИ	УГРОЗЫ
<p>Возможность развития новых навыков в связи с растущей потребностью в специалистах по растениеводству и инженерах, обученных проектированию систем выращивания с использованием ИТ.</p> <p>При высоких стандартах контроля можно выращивать культуры для медицинских целей.</p>	<p>Риск кражи информации.</p> <p>Выход из строя даже одного компонента системы может привести к потерям продукции.</p> <p>Надлежащее управление и инвестиции в технологии крайне важны.</p>

Выводы, направления дальнейших исследований. Проведенные анализ и оценка показали эффективность применения систем управления микроклиматом и сокращение потерь за счёт автоматизации вертикальных ферм.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что внедрение систем управления микроклиматом на предприятиях АПК снижают производственные риски, связанные с отказом оборудования, за счет высокой степени автоматизации, а также риски потери урожая, которые напрямую зависят от работы оборудования. Так, внедре-

ние систем позволяет снизить потери продукции минимум на 20%, исключая потери, связанные с отказом оборудования. Это открывает большой потенциал для развития отрасли. Наиболее перспективными направлениями дальнейших исследований в рамках данной темы являются: разработка систем автоматического управления микроклиматом, разработка прогнозных моделей выращивания листовых овощей, разработка комплексной информационной системы автоматизация контроля и управления условиями выращивания продукции вертикальных ферм.

Список источников

1. Vertical Agriculture Roadmap: From Concept to Profit // Intellias [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://intellias.com/vertical-agriculture-roadmap-from-concept-to-profit/> (In Eng.).
2. Piechowiak Mateusz 9 Problems that Vertical Farming is Trying to Solve [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://verticalfarmingplanet.com/9-problems-that-vertical-farming-is-trying-to-solve/> (In Eng.).
3. Magwaza S.T., Magwaza L.S., Odindo A.O., Mditshwa A. Hydroponic Technology as Decentralised System for Domestic Wastewater Treatment and Vegetable Production in Urban Agriculture: A review // *Sci. Total Environ.* 2020. № 698. С. 134154. (In Eng.).
4. Pisanu T., Garau S., Ortu P., Schirru L., Macciò C. Prototype of a Low-Cost Electronic Platform for Real Time Greenhouse Environment Monitoring // *An Agriculture 4.0 Perspective.* 2020. С. 726. (In Eng.).
5. Как заработать на вертикальных фермах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/finance/201216-kak-zarabotat-na-vertikalnyh-fermah>.
6. Прогнозируемый мировой рынок вертикального земледелия в 2019 и 2025 годах // *Statista.com* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/487666/projection-vertical-farming-market-worldwide/> (In Eng.).
7. Halgamuge M.N., Bojovschi A., Fisher P.M.J., Le T.C., Adeloju S., Murphy S. Internet of Things and Autonomous Control for Vertical Cultivation Walls Towards Smart Food Growing // *Urban Forestry & Urban Greening.* 2021. Vol. 61. P. 127094. (In Eng). DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127094.
8. Al-Kodmany K. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City // *Buildings.* 2018. P. 24. (In Eng).

References

1. Vertical Agriculture Roadmap: From Concept to Profit. *Intellias. Official website.* Available at: <https://intellias.com/vertical-agriculture-roadmap-from-concept-to-profit/>
2. Piechowiak Mateusz 9 Problems that Vertical Farming is Trying to Solve. Available at: <https://verticalfarmingplanet.com/9-problems-that-vertical-farming-is-trying-to-solve/>
3. Magwaza S.T., Magwaza L.S., Odindo A.O., Mditshwa A. Hydroponic Technology as Decentralised System for Domestic Wastewater Treatment and Vegetable Production in Urban Agriculture: A review. *Sci. Total Environ.* 2020. No. 698. P. 134154.
4. Pisanu T., Garau S., Ortu P., Schirru L., Macciò C. Prototype of a Low-Cost Electronic Platform for Real Time Greenhouse Environment Monitoring. *An Agriculture 4.0 Perspective.* 2020. P. 726.
5. How to Make Money on Vertical Farms. Available at: <https://vc.ru/finance/201216-kak-zarabotat-na-vertikalnyh-fermah> (in Russ).
6. Projected Vertical Farming Market Worldwide in 2019 and 2025. *Statista.com.* Available at: <https://www.statista.com/statistics/487666/projection-vertical-farming-market-worldwide>
7. Halgamuge M.N., Bojovschi A., Fisher P.M.J., Le T.C., Adeloju S., Murphy S. Internet of Things and Autonomous Control for Vertical Cultivation Walls Towards Smart Food Growing. *Urban Forestry & Urban Greening.* 2021. Vol. 61. P. 127094. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127094.
8. Al-Kodmany K. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City *Buildings.* 2018. P. 24.

9. Royston R.M., Pavithra M.P. Vertical Farming a Concept // *Int. J. Eng. Tech.* 2018. № 4. С. 500–506. (In Eng).
10. Деспомье Д. Вертикальные фермы, построение жизнеспособной модели внутреннего земледелия для городов // *OpenEdition. Journales* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journals.openedition.org/factsreports/5737> (In Eng.).
11. Santini A., Bartolini E., Schneider M., Greco de Lemos V. The Crop Growth Planning Problem in Vertical Farming // *European Journal of Operational Research.* 2021. Vol. 294. Issue 1. pp 377–390. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.01.034. (In Eng.).
12. Villa-Henriksen A., Edwards G.T.C., Pesonen L.A., Green O., Sørensen C.A.G. Internet of Things in Arable Farming: Implementation, Applications, Challenges and Potential // *Biosyst.* 2020. Vol. 191. pp. 60–84. (In Eng.).
13. Kozai T. Resource Use Efficiency of Closed Plant Production System with Artificial Light: Concept, Estimation and Application to Plant Factory // *Proceedings of the Japan Academy.* 2019. Vol. 89:10, pp. 447–461. (In Eng.). DOI: 10.2183/pjab.89.447
14. Saxena M., Dutta S. Improved the Efficiency of IoT in Agriculture by Introduction Optimum Energy Harvesting in WSN // *Proceedings of the 2020 International Conference on Innovative Trends in Information Technology.* – Kottayam, India, 13–14 February, 2020. (In Eng.).
9. Royston R.M., Pavithra M.P. Vertical Farming a Concept. *Int. J. Eng. Tech.* 2018. No. 4. pp. 500–506.
10. Despommier D. Vertical Farms, Building a Viable Indoor Farming Model for Cities. *OpenEdition. Journales. Web site.* Available at: <https://journals.openedition.org/factsreports/5737>
11. Santini A., Bartolini E., Schneider M., Greco de Lemos V. The Crop Growth Planning Problem in Vertical Farming. *European Journal of Operational Research.* 2021. Vol. 294. Issue 1. pp 377–390. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.01.034.
12. Villa-Henriksen A., Edwards G.T.C., Pesonen L.A., Green O., Sørensen C.A.G. Internet of Things in Arable Farming: Implementation, Applications, Challenges and Potential. *Biosyst.* 2020. Vol. 191. pp. 60–84.
13. Kozai T. Resource Use Efficiency of Closed Plant Production System with Artificial Light: Concept, Estimation and Application to Plant Factory. *Proceedings of the Japan Academy.* 2019. Vol. 89:10, pp. 447–461. (In Eng.). DOI: 10.2183/pjab.89.447
14. Saxena M., Dutta S. Improved the Efficiency of IoT in Agriculture by Introduction Optimum Energy Harvesting in WSN. *Proceedings of the 2020 International Conference on Innovative Trends in Information Technology.* Kottayam, India, 13–14 February, 2020.