

УДК 630\*4:632.934.1

**В. Б. Звягинцев<sup>1</sup>, Д. Г. Малашевич<sup>1</sup>, С. А. Жданович<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Государственное учреждение по защите и мониторингу леса «Беллесозащита»**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕСОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Интенсификация хозяйственной деятельности человека вносит свой вклад в глобальные климатические изменения и трансформирует естественные экологические условия, что особенно остро сказывается на природных геобиоценозах. Применительно к лесным экосистемам это проявляется в нарушении устойчивости насаждений, возникновении вспышек вредителей и болезней леса, что увеличивает потребность в совершенствовании технологий лесозащиты и внедрении в них передовых достижений.

Применение традиционной наземной и авиационной техники для проведения таких обработок имеет ряд недостатков, которые привели к быстрому развитию технологий внесения средств защиты растений с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

В статье показаны перспективы внедрения экономически эффективных и экологически безопасных технологий внесения средств защиты растений с помощью беспилотных летательных аппаратов в лесных насаждениях и лесосеменных плантациях. Для экономического обоснования применения БЛА в защите растений использован метод сравнительной экономической эффективности по отношению к существующим технологиям. Сделано заключение о том, что использование БЛА в процессе защиты растений в лесном хозяйстве влечет за собой повышение производительности и улучшение условий труда, способствует экологизации технологических процессов и снижает затраты на их проведение.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, инновации, лесозащитные мероприятия, экономическая эффективность, экологически безопасные технологии.

**Для цитирования:** Звягинцев В. Б., Малашевич Д. Г., Жданович С. А. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2023. № 2 (274). С. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6.

**V. B. Zviagintsev<sup>1</sup>, D. G. Malashevich<sup>1</sup>, S. A. Zhdanovich<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>State Institution for Forest Protection and Monitoring “Bellesozaschita”**PROSPECTS FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FORESTRY FOR FOREST PROTECTION MEASURES**

The intensification of economic activity contributes to global climate change and transforms natural environmental conditions, which has a particularly acute impact on natural geobiocenosis. In relation to forest ecosystems, this manifests itself in a violation of the stability of plantations, the occurrence of outbreaks of pests and forest diseases, which increases the need to improve forest protection technologies and introduce advanced achievements into them.

The use of traditional ground and aviation equipment for carrying out such treatments has a number of disadvantages, which have led to the rapid development of technologies for applying plant protection products using unmanned aerial vehicles (UAVs).

The article shows the prospects for introducing cost-effective and environmentally friendly technologies for applying plant protection products using unmanned aerial vehicles in forest plantations and seed plantations. To economically justify the use of UAVs in plant protection, the method of comparative economic efficiency in relation to existing technologies was used. It was concluded that the use of UAVs in the process of plant protection in forestry entails increased productivity and improved working conditions, contributes to the greening of technological processes and reduces the costs of their implementation.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, innovation, forest protection measures, economic efficiency, environmentally friendly technologies.

**For citation:** Zviagintsev V. B., Malashevich D. G., Zhdanovich S. A. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in forestry for forest protection measures. *Proceedings of BSTU, issue 5, Economics and Management*, 2023, no. 2 (274), pp. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6 (In Russian).

**Введение.** Быстрое развитие и внедрение инновационных технологий во все сферы человеческой деятельности влечет за собой повышение производительности и улучшение условий труда, способствует экологизации технологических процессов и увеличивает их экономическую эффективность. С другой стороны, интенсификация хозяйственной деятельности вносит свой вклад в глобальные климатические изменения и трансформирует естественные экологические условия, что особенно остро сказывается на природных геобиоценозах. Применительно к лесным экосистемам это проявляется в нарушении устойчивости насаждений, возникновении вспышек вредителей и болезней леса, что увеличивает потребность в совершенствовании технологий лесозащиты и внедрении в них передовых достижений.

Для защиты и поддержания устойчивости посевов и посадок в питомниках, повышения урожайности лесосеменных плантаций, локализации и ликвидации очагов вредителей и болезней в лесных насаждениях все шире используются современные средства защиты растений, такие как фунгициды, инсектициды, гербициды, стимуляторы роста, биопрепараты, микроудобрения и др. Применение традиционной наземной и авиационной техники для проведения таких обработок имеет ряд недостатков, которые привели к быстрому развитию технологий внесения средств защиты растений с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Целью работы была экономическая оценка перспектив использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения работ по внесению средств защиты растений от вредителей и болезней.

**Основная часть.** Для нужд сельского хозяйства в настоящее время разработаны технологии применения агродронов, показавших их высокую эффективность при реализации задач точного земледелия, особенно на мелкоконтурных участках [1–4]. Для использования БЛА были адаптированы многочисленные передовые технологии, такие как навигация по глобальной системе позиционирования (GPS), автоматическое планирование маршрута, автоматические системы опрыскивания, кинематическое позиционирование в реальном времени (RTK), технологии предотвращения препятствий и системы широтно-импульсной модуляции (PWM) на многороторных беспилотных летательных аппаратах, которые повышают стабильность их работы, эффективность, точность и простоту эксплуатации.

К основным преимуществам технологий БЛА для внесения средств защиты растений относят следующие:

- точная обработка защищаемых объектов, вплоть до кроны отдельного дерева, позволяющая сократить нецелевое расходование пестицидов и снизить побочное воздействие на экосистемы;

- лучшая проницаемость капель в полог растений и более равномерное их размещение на листовой поверхности по сравнению с традиционными методами обработки;

- высокая скорость выполняемых операций по обработке защищаемых объектов – до 30 га в час;

- низкая себестоимость работ. Обработка растений с использованием БЛА существенно дешевле, чем тракторной техникой или с использованием пилотируемой авиации;

- исключение воздействия вредного производственного фактора (вдыхание аэрозолей пестицидов) на оператора за счет удаленного контроля процесса обработки;

- возможность работы в автоматическом режиме за счет интеллектуальной системы распознавания симптомов поражения или ослабления растений.

Считается, что использование современных БЛА наиболее эффективно для защиты растений на небольших по площади, мозаичных по составу возделываемых культур и труднодоступных участках [5]. Посевы и посадки растений в лесных питомниках, а также лесосеменные плантации можно отнести именно к таким объектам.

С ростом спроса на точное земледелие и интеллектуальное растениеводство беспилотные летательные аппараты будут играть решающую роль в развитии сельского и лесного секторов. По данным Международной ассоциации беспилотных транспортных систем (AUVSI), в ближайшем будущем 80% гражданских беспилотных летательных аппаратов будут использоваться в растениеводстве. Тем не менее есть еще некоторые проблемы, которые необходимо решить с помощью технологии внесения средств защиты растений с использованием БЛА, такие как снос капель и эффективность пестицидов [6]. Именно эти проблемы привели к развитию масштабных экспериментов по отработке технологических регламентов применения агродронов в новых условиях работы с целью повышения эффективности работы и расширения перечня обрабатываемых культур. На каждой культуре обрабатывается оптимальная высота полета над растениями, скорость полета, качество опрыскивания, расход рабочей жидкости, концентрации действующего вещества, производительность аппарата, параметры при обработке – скорость ветра, интенсивность солнечной инсоляции и др. [7]. Важными параметрами, которые необходимо учитывать при проведении опытных работ, являются настройки форсунок распыляющего оборудования БЛА. Это позволяет

добиться оптимального размера капель рабочей жидкости для обработки определенной культуры, повысить эффективность мероприятия и минимизировать снос средства защиты растений [8]. По мнению китайских ученых, оптимальные регулируемые параметры БЛА при опрыскивании древесных растений с широкими плотными листьями (цитрусовых), полученные на основе результатов испытаний плотности и однородности осаждаемых капель, составили: высота полета – 2,5 м, скорость полета – 4,0 м/с и скорость потока через сопло – 1,0 л/мин [9]. Размер капель является одним из наиболее важных факторов, влияющих на осаждение и дрейф растворов распыляемых пестицидов с помощью БЛА.

Выявлено, что при ультрамалообъемном опрыскивании следует избегать настроек, дающих капли менее 160 мкм, а при проведении опытных работ с подветренной стороны необходимо выделять буферную зону шириной не менее 10 м [10].

Используя существующие данные о работе БЛА для защиты растений в сочетании с технологией искусственной нейронной сети, разработана обучаемая модель, способная автоматически учитывать факторы, влияющие на осаждение капель, включая температуру и влажность окружающей среды, скорость ветра, скорость полета, высоту полета, шаг винта, шаг сопел и предписываемые параметры обработки. Необходимая информация в реальном времени собирается с помощью мультисенсоров, а модель нейронной сети регулирует скорость распыления и параметры полета БЛА в соответствии с заданным качеством обработки [6].

Экспериментально доказано, что мультироторные агродроны имеют преимущество над другими типами БЛА в стабильности режимов обработки. Равномерность скорости полета и высоты полета мультироторных БЛА составила 3,66 и 4,67% соответственно. Среднее отклонение маршрута – не более 0,172 м на 100 м прогона. При этом БЛА в автоматическом режиме способны противостоять воздействию бокового ветра. Выявлено, что в процессе распыления мультироторный БЛА для защиты растений в полностью автономном режиме управления имеет наилучшее качество выдерживания маршрута полета и обеспечивает большую безопасность при распылении [11]. Получены данные, которые подтверждают способность проникновения капель защитного состава на средние и нижние ярусы ветвей древесных растений при обработке полога с применением мультироторных БЛА [12]. Это позволяет производить полную обработку крон защищаемых растений. Учитывая данные достоинства мультироторных БЛА, для испытаний в лесном хозяйстве был

отобран октокоптер DJI Agras MG1, имеющий 8 несущих винтов.

Экономические расчеты показали, что окупаемость инвестиций в приобретение БЛА типа DJI Agras MG1 для сельскохозяйственного производства составляет не более 2 лет [13].

Ведущие белорусские ученые в области сельского хозяйства считают, что внедрение технологий БЛА в сферу защиты растений является одной из наиболее перспективных инноваций современного агропромышленного комплекса [14–15]. Промышленно выпускаемые БЛА для защиты растений – агродроны, созданы и программно адаптированы для выполнения задач в области сельского хозяйства. Принципиальная возможность использования таких аппаратов с целью применения в лесном хозяйстве не освещается в специализированной литературе. В условиях Беларуси и ближайшего зарубежья научное обоснование технологии использования и внедрения агродронов в сферу внесения средств защиты леса не проводилось.

Использование БЛА в лесном хозяйстве республики ограничивается следующими факторами:

1) отсутствием знаний об экономических и экологически эффективных технологиях применения современных препаратов для защиты лесных растений в режиме ультрамалообъемного опрыскивания с использованием БЛА;

2) необходимостью перерегистрации средств защиты растений под ультрамалообъемную обработку со всем комплексом государственных регистрационных испытаний и токсиколого-гигиенических исследований;

3) отсутствием законодательной базы для использования тяжелых БЛА в сельском и лесном хозяйствах. В настоящее время на агродроны распространяется действие Воздушного кодекса, который строго ограничивает полеты и делает широкое практическое использование БЛА для защиты растений весьма затруднительным;

4) отсутствием специалистов с квалификацией, достаточной для использования БЛА в защите лесных растений.

В государственном реестре средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Беларуси, нет препаратов, которые можно использовать путем внесения низкими нормами расхода рабочих растворов, т. е. при высоких концентрациях действующих веществ. Отсутствуют сведения о влиянии таких обработок на окружающую среду, работников и защищаемые растения. Это сдерживает внедрение прогрессивных БЛА-технологий в сферу защиты леса. На основании проведения комплексной оценки биологической и экологической эффективности использования беспилотных летательных аппаратов для внесения

средств защиты растений будет разработана инновационная технология проведения лесозащитных мероприятий в питомниках, лесных насаждениях и на лесосеменных плантациях.

Изучение технических характеристик DJI Agras MG1, влияющих на скорость и экономические показатели, проводили на реальных объектах – питомниках, лесных плантациях и насаждениях различного возраста и породного состава. Обработки проводились на базе Негорельского учебно-опытного, Осиповичского опытного, Борисовского опытного, Слуцкого, Копыльского, Барановичского, Бобруйского, Ивацевичского, Крупского лесхозов, а также на полях дорощивания Республиканского лесного селекционно-семеноводческого центра. Было выявлено, что оптимальные результаты распыления на посевах в питомниках получаются при высоте полета над культурой 2–3 м и скорости полета 4–6 м/с. В посадках растений с многоярусной кроной (школьные отделения, лесные культуры, отдельные крупные деревья) лучшее проникновение рабочей жидкости на ассимиляционный аппарат достигается при высотах над кронами 1,5–2 м и скорости полета 2–3 м/с.

Испытания показали высокую биологическую эффективность применения средств защиты растений, вносимых при помощи агродронов [16–17]. Было выявлено, что сходной с традиционными методами обработки эффективности подавления инфекций и вредителей можно добиться, расходуя на 30% меньше препаратов и используя только 20–50 л рабочей жидкости на 1 га вместо 500 л. Это дало возможность впервые в Беларуси провести государственную регистрацию пестицидов под внесение их с использованием БЛА.

Гигиенические исследования позволили определить, что действующие вещества пестицидов не обнаружены в зоне дыхания оператора-заправщика БЛА, что связано с возможностью контроля полета на значительном удалении от места обработки. По заключению РУП «НПЦ гигиены» условия труда при обработке растений с использованием агродрона соответствуют гигиеническим требованиям.

При изучении перспектив внедрения новой технологии в сферу практического применения важнейшим этапом является экономическая оценка, показывающая истинный потенциал инновации. Для экономического обоснования применения БЛА в защите растений предлагается использовать метод сравнительной экономической эффективности по отношению к существующим технологиям.

Показатели экономической эффективности внедрения новых машин и технологий по сравнению с базовыми характеризуют степень

повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции (работ), сокращения потребности в рабочей силе и улучшения условий труда, экономии капиталовложений, предотвращения негативных социально-экологических последствий.

В качестве экономического эффекта от проектных предложений применения БЛА в сравнении с традиционными методами внесения пестицидов (тракторный опрыскиватель, моторизированный ранцевый опрыскиватель) рассматривается сокращение прямых затрат всех видов ресурсов на проведение работ. Определение экономического эффекта проводится в следующем порядке:

- определяются исходные данные для экономической оценки проектных предложений;
- проводится расчет прямых затрат на проведение лесозащитных мероприятий на 1 га;
- рассчитывается экономический эффект, который выражается в снижении затрат на проведение лесозащитных мероприятий.

Прямые затраты включают: заработную плату обслуживающего персонала с начислениями; затраты на эксплуатацию оборудования; стоимость расходуемых материалов.

Экономическая эффективность применения БЛА в защите растений в сравнении с ранцевым опрыскивателем и тракторным опрыскивателем в питомнике представлена в табл. 1, в сравнении с ранцевым опрыскивателем и тракторным опрыскивателем на 1 га лесосеменных плантаций (ЛСП) представлена в табл. 2. В расчетах приняты среднеотраслевые значения экономических показателей за 2023 г.

Таблица 1

**Экономическая эффективность применения БЛА в питомнике, на 1 га**

Статьи затрат	Ранцевый опрыскиватель	БЛА
Заработная плата, руб.	75,7	2,88
Начисления на заработную плату, руб.	26,19	1,0
Затраты на эксплуатацию оборудования, руб.	7,34	1,73
Стоимость материалов, руб.	90,64	63,03
Итого, руб.	199,87	68,64
Снижение затрат при применении БЛА, руб.	131,23	–

Проведенные расчеты позволяют констатировать, что применение БЛА класса агродронов для защиты растений в лесном хозяйстве имеет

существенную экономическую эффективность по сравнению с применяющимися технологиями, позволяющую снижать затраты на каждой обработке от 93,26–104,74 руб. с 1 га лесосеменных плантаций и 131,23 руб. с 1 га при обработках в лесных питомниках.

Таблица 2  
Экономическая эффективность применения  
БЛА на ЛСП, на 1 га

Статьи затрат	Ранцевый опрыскиватель	Тракторный опрыскиватель	БЛА
Заработная плата, руб.	47,49	24,28	2,88
Начисления на заработную плату, руб.	16,43	8,4	1,0
Затраты на эксплуатацию оборудования, руб.	7,34	50,0	1,73
Стоимость материалов, руб.	90,64	90,7	63,03
Итого, руб.	161,9	173,38	68,64
Снижение затрат при применении БЛА, руб.	93,26	104,74	–

По данным учреждения «Беллесозащита», средняя стоимость услуг по защите урожая ле-

сосеменных плантаций высокопроизводительным автомобильным аэрозольным генератором ГАРД составляет 160,86 руб./га, что существенно выше затрат на применение БЛА. К тому же ГАРД имеет ряд ограничений по размеру и проходимости участков, их доступности, обусловленной несущей способностью грунтов и т. п., что не является преградой для применения БЛА.

**Заключение.** При обработке удаленных участков традиционные технологии требуют дополнительных затрат на подвозку большого количества воды для приготовления рабочих растворов. При обработке крупных деревьев на плантациях с помощью ранцевого опрыскивателя применяются автовышки, что существенно удорожает обработку и увеличивает затраты времени на ее проведение. В этом плане БЛА класса агродронов является самодостаточной системой, которая не требует существенных дополнительных затрат для эффективного применения.

Следовательно, использование БЛА для защиты растений в лесном хозяйстве позволит значительно повысить экономическую эффективность, увеличить оперативность проводимых операций и улучшить условия труда работников.

### Список литературы

1. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельскохозяйственном производстве / А. С. Сметнев [и др.] // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2015. № 18. С. 51–56.
2. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов / Л. А. Марченко [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 3. С. 17–23.
3. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия / И. Г. Смирнов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 3. С. 10–16.
4. Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотными летательными аппаратами в цифровом сельском хозяйстве / Л. А. Марченко [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13, № 5. С. 38–45.
5. He X. Rapid development of unmanned aerial vehicles (UAV) for plant protection and application technology in China // *Outlooks on Pest Management*. 2018. Vol. 29, No. 4. P. 162–167.
6. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV) / H. Chen [et al.] // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021. No. 14 (1). P. 38–49.
7. Применение беспилотных летательных аппаратов в виноградарстве / М. И. Панкин [и др.] // Виноделие и виноградарство. 2018. № 4. С. 17–21.
8. Development situation and spraying decision of spray nozzle for plant protection UAV / Y. He [et al.] // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 34, No. 13. P. 113–124.
9. Effects of spraying parameters of small plant protection UAV on droplets deposition distribution in citrus canopy / S. E. Chen [et al.] // *Journal of South China Agricultural University*. 2017. Vol. 38, No. 5. P. 97–102.
10. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV / S. Chen [et al.] // *Agronomy*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 195.
11. Test and evaluation for flight quality of aerial spraying of plant protection UAV / S. D. Chen [et al.] // *Journal of South China Agricultural University*. 2019. Vol. 40, No. 3. P. 89–96.
12. Evaluation of spraying effect using small unmanned aerial vehicle (UAV) in citrus orchard / P. Zhang [et al.] // *Journal of Fruit Science*. 2016. Vol. 33, No. 1. P. 34–42.

13. Эфендиева А. А., Загазежева О. З. Перспективы использования беспилотных устройств в решении прикладных задач в сельскохозяйственной отрасли // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 4. С. 54–59.

14. Интегрированная система точного земледелия с использованием беспилотных летательных аппаратов / С. А. Чижик [и др.] // Наука и инновации. 2020. № 10 (212). С. 63–64.

15. Сорока С. В., Жуковский А. Г. Интеллектуальные системы для защиты растений // Наука и инновации. 2021. № 3 (217). С. 31–34.

16. Звягинцев В. Б. Агродроны в защите леса от вредителей и болезней // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: материалы XI Междунар. конф., Петрозаводск, 10–14 окт. 2022 г. / Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Институт леса КарНЦ РАН, Институт лесоведения РАН, Научный совет РАН по лесу; под ред. О. О. Предтеченской, В. Г. Стороженко. М.; Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. С. 22–23.

17. Беспилотные технологии в лесных питомниках: биологическая эффективность и гигиенические риски / В. Б. Звягинцев [и др.] // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за издание И. В. Войтов. Минск: БГТУ, 2023. С. 112–113.

### References

1. Smetnev A. S., Zimin V. K., Yudin Yu. B., Skobeev I. N. The use of unmanned aerial vehicles in agricultural production. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University], 2015, no. 18, pp. 51–56 (In Russian).

2. Marchenko L. A., Lichman G. I., Smirnov I. G., Mochkova, T. V., Kolesnikova, V. A. Differentiated application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machines and technologies], 2017, no. 3, pp. 17–23 (In Russian).

3. Smirnov I. G., Marchenko L. A., Lichman G. I., Mochkova T. V., Spiridonov A. Yu. Unmanned aerial vehicles for applying pesticides and fertilizers in the precision farming system. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machines and technologies], 2017, no. 3, pp. 10–16 (In Russian).

4. Marchenko L. A., Artyushin A. A., Smirnov I. G., Mochkova T. V., Spiridonov A. Yu., Kurbanov R. K. Technology of applying pesticides and fertilizers using unmanned aerial vehicles in digital agriculture. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machines and technologies], 2019, vol. 13, no. 5, pp. 38–45 (In Russian).

5. He X. Rapid development of unmanned aerial vehicles (UAV) for plant protection and application technology in China. *Outlooks on Pest Management*, 2018, vol. 29, no. 4, pp. 162–167.

6. Chen H., Lan Y., Fritz B. K., Hoffmann W. C., Liu S. Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2021, no. 14 (1), pp. 38–49.

7. Pankin M. I., Talash A. I., Puchkov V. N., Budinskaya A. Yu. Application of unmanned aerial vehicles in viticulture. *Vinodelie i vinogradarstvo* [Winemaking and viticulture], 2018, no. 4, pp. 17–21 (In Russian).

8. He Y., Xiao S., Fang H., Dong T., Tang Y., Nie P., Luo S. Development situation and spraying decision of spray nozzle for plant protection UAV. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, vol. 34, no. 13, pp. 113–124.

9. Chen S., Lan Y., Zhou Z., Liao J., Zhu Q. Effects of spraying parameters of small plant protection UAV on droplets deposition distribution in citrus canopy. *Journal of South China Agricultural University*, 2017, vol. 38, no. 5, pp. 97–102.

10. Chen S., Lan Y., Zhou Z., Ouyang F., Wang G., Huang X., Cheng S. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. *Agronomy*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 195.

11. Chen S., Lan Y., Zhou Z., Li J., Ouyang F., Xu X., Yao W. Test and evaluation for flight quality of aerial spraying of plant protection UAV. *Journal of South China Agricultural University*, 2019, vol. 40, no. 3, pp. 89–96.

12. Zhang P., Yi S., Liu Y., He S., Xie R., Zheng Y., Pan H., Deng L. Evaluation of spraying effect using small unmanned aerial vehicle (UAV) in citrus orchard. *Journal of Fruit Science*, 2016, vol. 33, no. 1, pp. 34–42.

13. Efendieva A. A., Zagazheva O. Z. Prospects for the use of unmanned devices in solving applied problems in the agricultural industry. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [News of

the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2019, no. 4, pp. 54–59 (In Russian).

14. Chizhik S., Antoshuk S., Galushko E., Kostevich S., Kostyukevich S., Leonovets Yu. Integrated precision farming system using unmanned aerial vehicles. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2020, no. 10 (212), pp. 63–64 (In Russian).

15. Soroka S. V., Zhukovsky A. G. Intelligent systems for plant protection. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2021, no. 3 (217), pp. 31–34 (In Russian).

16. Zviagintsev V. B. Agrodrones in protecting forests from pests and diseases. *Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii: materialy XI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Problems of forest phytopathology and mycology: materials of the XI International conference]. Moscow, Petrozavodsk, 2022, pp. 22–23 (In Russian).

17. Zviagintsev V. B., Pinchuk A. G., Ivashchenko L. O., Zhdanovich S. A., Ilyukova I. I., Kamlyuk S. N. Unmanned technologies in forest nurseries: biological efficiency and hygienic risks. *Lesnoe khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Forestry: materials of the 87th scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation)]. Minsk, 2023, pp. 112–113 (In Russian).

### Информация об авторах

**Звягинцев Вячеслав Борисович** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zviagintsev@belstu.by

**Малашевич Диана Георгиевна** – старший преподаватель кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: malashevich@belstu.by

**Жданович Сергей Анатольевич** – директор Государственного учреждения по защите и мониторингу леса «Беллесозащита» (223031, Минский р-н, а/г Ждановичи, ул. Парковая, 26а, Республика Беларусь). E-mail: bellesozaschita@mail.belpak.by

### Information about the authors

**Zviagintsev Vyacheslav Borisovich** – PhD (Biology), Associate professor, Assistant professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zviagintsev@belstu.by

**Malashevich Diana Georgievna** – Senior Lecturer, the Department of Management, Business Technology and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: malashevich@belstu.by

**Zhdanovich Sergey Anatolyevich** – Director of the State Institution for Forest Protection and Monitoring “Bellesozashchita” (26a, Parkovaya str., 223031, Zhdanovichi a/g, Minsk district, Republic of Belarus). E-mail: bellesozaschita@mail.belpak.by

Поступила 15.09.2023