

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES
ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

Научная статья
УДК 631:62:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ АГРОИНЖЕНЕРИИ

**Владимир Анатольевич Погоньшев, Дина Алексеевна Погоньшева,
Наталья Дмитриевна Ульянова**
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Эффективная эксплуатация сложных технических систем в аграрной индустрии обуславливает рациональное использование агроресурсов, устойчивое развитие отраслей, рост уровня жизни населения. Неуклонное развитие аграрного бизнеса, повышение конкурентоспособности производимой продукции, сохранение лидирующих позиций на региональных и глобальных рынках продовольствия связано с созданием новых и совершенствованием существующих технологических процессов и сельхозмашин. Актуальным инструментом современной агроинженерии выступает моделирование. Современные программные средства позволяют реализовать системный подход в агроинженерии, исследовать характеристики протекания вероятностных организационно-технологических процессов во времени и пространстве с необходимой их детализацией. Оптимизация параметров и режимов работы машин при выполнении механизированных производственных процессов опирается на использование имитационного моделирования. На результативность аграрной индустрии оказывает существенное влияние вероятностная составляющая, и это следует учитывать при построении модели. Широко используется в инженерной практике технология цифровых двойников технических систем/процессов/объектов. В процессе исследования цифровая модель объекта (системы, процесса) с использованием предиктивной аналитики уточняет и оптимизирует его структуру, техническое состояние, функционирование, прогнозирует производительность, таким образом описывает реальный или проектируемый объект на микро- и макроуровне. 3D-моделирование технических объектов в агроинженерии позволяет решать задачи создания, ремонта, модернизации сельхозтехники. В ходе исследования изделия его модель перемещается в виртуальном пространстве, что позволяет выполнить устранение выявленных ошибок, исключить нарушения нормативов, сократить до оптимального уровня использование ресурсов, снизить затраты.

Ключевые слова: сельское хозяйство, агроинженерия, технические средства, моделирование, имитационные модели, цифровые двойники, 3D-моделирование

Для цитирования: Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А., Ульянова Н.Д. Моделирование как инструмент современной агроинженерии // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 1 (107). С. 46-51.

Original article

MODELING AS A TOOL OF MODERN AGROENGINEERING

Vladimir A. Pogonyshv, Dina A. Pogonysheva, Natalia D. Ul'yanova
Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. Effective operation of complex technical systems in the agricultural industry determines the rational use of agricultural resources, sustainable development of industries, and an increase in the standard of living of the population. The steady development of the agricultural business, increasing the competitiveness of manufactured products, and maintaining leading positions in regional and global food markets are associated with the creation of new and improved existing technological processes and agricultural machinery. Modeling is a relevant tool of modern agroengineering. Modern software tools allow to implement a systematic approach in agroengineering, to study the characteristics of the course of probabilistic organizational and technological processes in time and space with necessary details. Optimization of machine parameters and operating modes when performing mechanized production processes is based on the use of simulation modeling. The performance of the agricultural industry is significantly influenced by the probabilistic component, and this should be taken into account when building a model. The technology of digital twins of technical systems/processes/objects is widely used in engineering practice. In the process of research, a digital model of an object (system, process) using predictive analytics clarifies and optimizes its structure, tech-

nical condition, functioning, predicts performance, thus describes a real or projected object at the micro and macro levels. 3D modeling of technical facilities in agroengineering allows solving the tasks of building, repairing, and modernizing agricultural machinery. During the product's investigation, its model is moved in virtual space, which allows you to eliminate the identified errors and violations of standards, decrease an application of resources to an optimal level and reduce costs.

Key words: agriculture, agroengineering, technical means, modeling, simulation models, digital twins, 3D modeling.

For citation: Pogonyshev V.A., Pogonysheva D.A., Ul'yanova N.D. Modeling as a tool of modern agroengineering // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. 1 (107): 46-51.

Введение. Рациональное использование природного агропотенциала территорий обусловлено использованием современных сложных технических систем. В сельском хозяйстве присутствует сильное воздействие случайной компоненты. Наиболее ярким примером является изменчивость погодных условий, которые влияют на результативность отраслей агробизнеса. Цифровое развитие аграрной сферы опирается на отечественные технологии, методы, модели, алгоритмы, широкое использование современных программных решений.

Результаты и их обсуждение. Научно обоснованная организация производственных процессов является основой успешной деятельности хозяйствующих субъектов. Для сельского хозяйства характерны свойства сложных динамических открытых систем, обладающих полиструктурностью, многомерностью, стохастичностью, многовариантностью поведения, наличием многочисленных нелинейных причинно-следственных связей между подсистемами, территориально распределенными между собой, присутствием различных биологических объектов. Сотрудники организаций выступают источниками неформализованных и формализованных профессиональных знаний [1-8].

Проведение экспериментов с моделью объекта позволяет существенно экономить ресурсы, при этом воплощается в практику наилучший вариант структуры системы, установленный с помощью моделирования; значительно экономится время; возможна реализация трудновоспроизводимого режима функционирования объекта; осуществляется многовариантный подход с выбором наилучшего решения из всех возможных альтернатив; возможно проследить влияние управляемых и неуправляемых внутренних и внешних факторов на поведение системы; выявление ранее неизвестных свойств объектов исследуемой системы [9-12].

Реализация научно-практических достижений в растениеводстве, ведущей отрасли сельского хозяйства, требует соблюдения законов земледелия. На урожайность культур помимо доз и сроков внесения удобрений влияют почвенно-климатические и погодные условия, сроки выполнения комплексов агротехнических работ. Системный подход при производстве продукции растениеводства позволяет одновременно учитывать биологические, метеорологические, организационно-технологические факторы и возможные производственные ситуации. Системность растениеводства особо проявляется в такие напряженные периоды, как посев, уход за культурами, уборка. Отклонения от планируемых режимов технологии производства продукции растениеводства приводят к потерям урожая. Резервы роста продуктивности культур обусловлены упорядочением эксплуатации технических средств с учетом реализующихся погодных условий.

Инструментарием, реализующим недетерминированный подход к решению проблем регенеративного сельского хозяйства в условиях цифровизации, выступает аппарат имитационного моделирования. Имитационное моделирование является мощным инструментом для воспроизведения производственных процессов в условиях риска и неопределенности с целью обоснования наиболее оптимальных его параметров, так как позволяет моделировать динамику объектов системы во времени и в пространстве. Поведение сложных технических систем возможно описать с помощью совокупности их реакций на некоторые известные (или заданные) внешние воздействия. Проникновение математических методов в технические науки показывает, насколько ограничены возможности моделирования технических систем с использованием аналитических методов.

Различают следующие способы моделирования: аналитическое, имитационное, эвристическое, эволюционное. Имитационная математическая модель имитирует внешние проявления функционирования технических средств без раскрытия сути протекающих в них процессов. Платформы имитационного моделирования позволяют решать трудно формализуемые задачи, имеют развитые средства для проведения многочисленных сценарных расчетов и анализа результатов имитационного эксперимента. Объективное мнение о работе технической системы можно получить на основе серии экспериментов, так как результат каждого прогона носит случайный характер. Обоснование адаптивных решений опирается на современные платформы, имитирующие организационно-технологические процессы в конкретной производственной ситуации.

Методология имитационного моделирования позволяет рассматривать взаимодействие биологических, технологических, организационных и агрометеорологических факторов на урожайность сельхозкультур в процессе реализации многочисленных многовариантных расчетов. Вычисляемые технико-экономические характеристики представляют собой базу данных для планирования инновационно-ориентированного развития хозяйствующих субъектов (Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А., Морозова Е.И. *Совершенствование инновационного развития региона на основе использования когнитивных технологий // Креативная экономика. 2016. Т. 10. № 2. С. 111-122*).

Отсутствие большого числа примеров применения имитационного моделирования в сельском хозяйстве связано преимущественно с незнанием специалистов подходящих для решения нестандартных задач инструментов. Программные среды AnyLogic, Enterprise Dynamics, Arena имеют среду визуального моделирования 2D и 3D.

AnyLogic разработан отечественной компанией The AnyLogic Company, включает визуальные языки моделирования: диаграммы состояния, диаграммы потоков и накопителей, блок-схемы, диаграммы процессов, графический интерфейс, язык программирования Java для разработки моделей бизнес-процессов организации.

Мультипарадигмальная платформа используется в компаниях из рейтинга Fortune 100 и лидерами российского РБК 500 (Сколково, РУСАЛ, Яндекс и др.). Имеются убедительные результаты использования данного решения в аграрной индустрии. Так, например, BlueKei Solutions (индийская консалтинговая компания), для оптимизации работы агроботов использовала агентный подход.

В среде AnyLogic успешно разработана имитационная модель уборочных работ сельхозкультур. В основу модели заложены математические зависимости сроков созревания культур с учетом теплообеспеченности территории. В расчётном модуле присутствуют параметры инженерно-технологической обеспеченности предприятия [12].

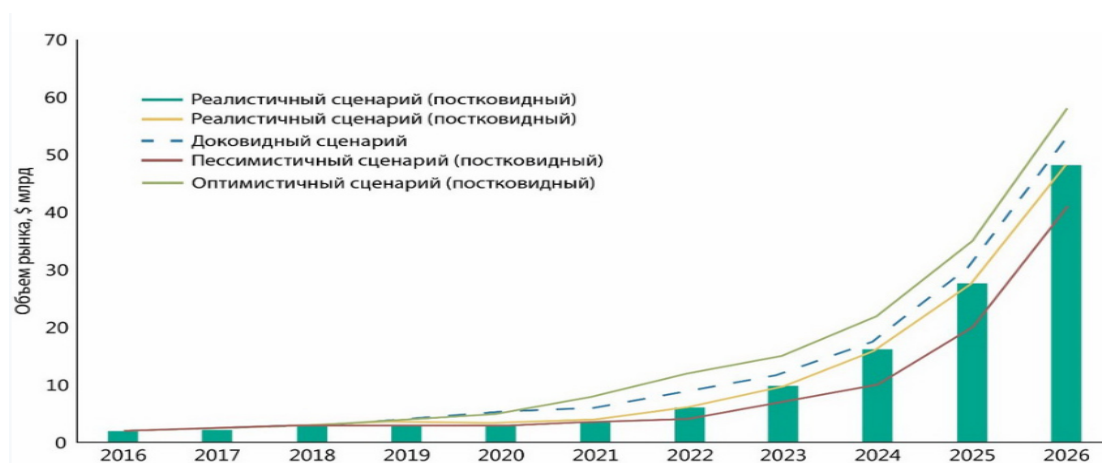


Рисунок 1 – Прогнозы объема мирового рынка цифровых двойников [15]

Трендом цифрового сельского хозяйства выступают цифровые двойники (ЦД). ЦД это современная технология, в ее основе лежат разработка и применение комплекса мультидисциплинарных математических моделей. Эти модели достаточно адекватно воспроизводят создание и поведение реальных объектов и сложных систем. Объект и его цифровая копия взаимодействуют в процессе информационной связи. Датчики, установленные на физическом объекте, собирают о нем данные и отправляют их ЦД. [13-18] Эксперты отмечают неуклонный рост рынка ЦД к 2025 г. до уровня 35,8 млрд долл (рис. 1).

Существует принципиальная возможность создания ЦД поля, сельхозтехники и др. Так, Центр НТИ СПбПУ, компания «Нова-Инжиниринг» успешно создали многочисленные ЦД сложных технических объектов. «Русагро» разработал системы ЦД с целью мониторинга состояния технических средств, животных, культур, прогноза и оптимизации сроков технологических операций, показателей агробизнеса. Сколково внедрило ЦД полей в различных регионах страны. В агроинженерии ожидается последовательное внедрение многочисленных ЦД объектов, процессов и систем. Эксперты считают, что искусственный интеллект позволит создавать ЦД, автономно принимающие решения, в том числе в ходе координации собственных действий с другими ЦД. А сети ЦД будут способны не только аккумулировать знания для решения коллективных задач, но и создавать «цифровые рои». Однако в настоящее время недостаточно тиражируемых решений в агроинженерии.

Предприятия, занимающиеся разработкой, модернизацией и ремонтом сельхозтехники заинтересованы в использовании технологии 3D-моделирования. Созданная цифровая модель изделия предо-

ставляет возможность непосредственно в виртуальном пространстве осуществлять разнообразные перемещения, корректировать технические характеристики. В ФГБОУ ВО Брянский ГАУ при исследовании изделия «Плуг полунавесной оборотный (ППО 5/7-35)» выполнена разработка трехмерной графической модели объекта с использованием возможностей 3D-редактора «КОМПАС 3D» [19].

К этапам моделирования относятся создание отдельных деталей, сборка плуга и предплужника, получение готового объекта. Нами были использованы 84 детали, в ходе выполнения 30 сборок получены две сборки «Корпус плуга» (13 деталей) и «Предплужник», затем был создан целостный технический объект (рис. 2).

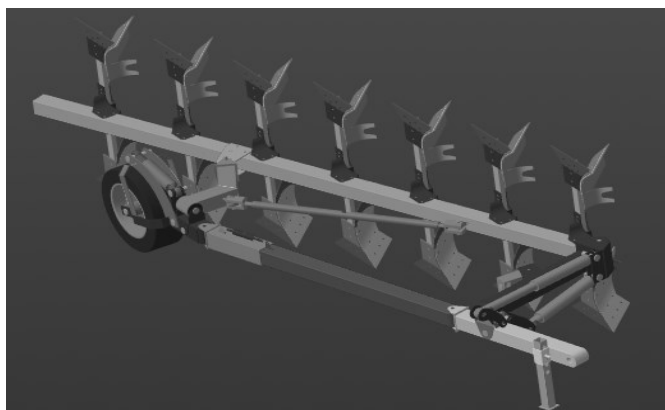


Рисунок 2 - Модель изделия «Плуг полунавесной оборотный (ППО 5/7-35)»

Используя в дальнейшем отечественные программные решения, предназначенные для проектирования и анализа трехмерных моделей на прочность, исследователь имеет возможность углубить анализ разработанной модели.

В программном продукте «Компас 3D» разработана трехмерная модель инженерной детали «Пневмопоршень» (рис. 3). Моделирование проводилось по условиям технического задания производственного предприятия, изготавливающего запчасти для сухих кормозагрузчиков, выпускающего коробки отбора мощности на грузовые автомобили и карданные валы для привода спецагрегатов.

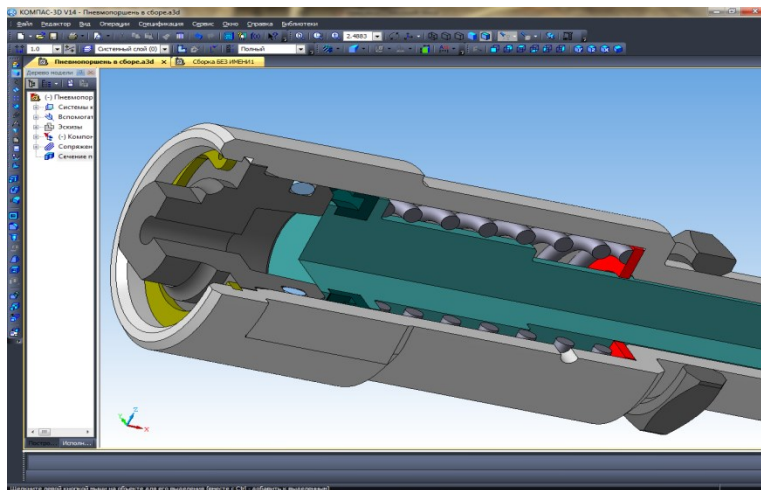


Рисунок 3- Изделие «Пневмопоршень» в разрезе

Разработанная модель использовалась для точного создания реальной сложной детали в сборке до запуска в производство, что позволило повысить качество выпускаемых изделий, снизить расходы на разработку, сэкономить ресурсы предприятия.

Особый интерес для исследователей предоставляют решения для расчёта, анализа и моделирования физических процессов в области механики, термодинамики, электромагнетизма, акустики, биоинженерии и т.п., или CAE-системы (Computer-aided engineering). К популярным системам относятся APM WinMachine, Ansys, NX Nastran, ФРУНД, Magmasoft, APM FEM и другие.

Трёхмерное твердотельное моделирование позволяет создавать модели отдельных деталей, рабочих органов, механизмов, исследовать физические свойства материалов, осуществлять моделировать поведение исследуемого объекта. Так, в ФГБОУ ВО Брянский ГАУ с использованием программного средства «Компас-3D» разработана трехмерная модель усовершенствованной детали «Планшайба» для токарно-винторезного станка [20]. Суть разработки заключена в создании в основании планшайбы ци-

линдрического глухого отверстия для ее закрепления на кулачки патрона без его предварительного съема с токарно-винторезного станка; добавлены дополнительные вертикальные и горизонтальные Т-образные пазы для увеличения числа вариантов фиксации обрабатываемой детали; для удобства выполнения технологических операций нанесена круговая градуировка планшайбы (рис. 4).

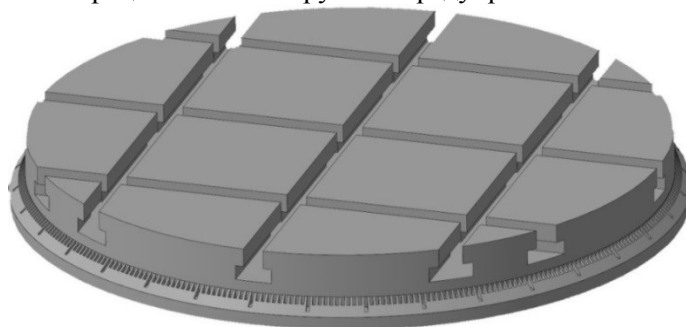


Рисунок 4 – Трехмерная модель усовершенствованной планшайбы

В процессе разработки проведены исследования по оценке прочности созданной 3D-модели с использованием системы прочностного конечно-элементного анализа АРМ FEM. Использование этой системы не только предсказывает поведение изучаемого образца в различных условиях его эксплуатации, но и для повышения производительности, надежности и эффективности работы механизмов оптимизировать его конструкцию.

Помимо этого, нами был выбран металл для изготовления изделия. Исследованы различные стали от Сталь 08 ГОСТ 1050-2013 до Сталь 45 ГОСТ 1050-2013. В результате мы сделали вывод о том, что разработка трехмерной модели изделия «Планшайба» в программе «КОМПАС 3D» и дальнейшее проведение компьютерного анализа позволяют проверить геометрические параметры детали, выявить дефекты, оценить материал для изготовления детали и тем самым снизить объем экспериментальной отработки детали, предотвратить ее преждевременный износ и разрушение целостности новой конструкции [20].

Выводы. Использование современных платформ имитационного моделирования для исследования многовариантных сценариев функционирования технических процессов и систем, ЦД, решений 3D-моделирования в агроинженерии позволяет повысить экономическую эффективность аграрной индустрии, избежать конфликтов целей в АПК.

С целью подготовки необходимых квалифицированных кадров считаем целесообразным в аграрных образовательных учреждениях реализовать идеи опережающей профессиональной подготовки студентов, владеющих новыми знаниями и способных внедрять в агробизнесе высокотехнологичные решения.

Список источников

1. Дело техники. Как обстоят дела с обновлением парка сельхозмашин у российских аграриев [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/tech/article/35567-delo-tekhniki-kak-obstoyat-dela-s-obnovleniem-parka-selkhoz mashin-u-rossiyskikh-agrariyev/>
2. Обеспеченность сельскохозяйственных организаций тракторами и комбайнами по Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. - Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy.
3. Терновых К.С., Четверова К.С. Состояние и тенденции развития технической базы сельскохозяйственных предприятий // International agricultural journal. 2022. № 6. С. 1051-1067.
4. Сельхозтехника в России [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Сельхозтехника_в_России.
5. Экономическая оценка материально-технической базы сельского хозяйства Брянской области / Е.П. Чирков, О.В. Дьяченко, М.А. Бабьяк, О.М. Хохрина // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 4 (48). С. 109-117.
6. Водяников В.Т., Субаева А.К. Техническое перевооружение сельского хозяйства в условиях цифровизации // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 58-62.
7. Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства / В.Е. Ториков, В.А. Погоньшев, Д.А. Погоньшева, Г.Е. Дорных // Вестник Курской ГСХА. 2020. № 9. С. 6-13.
8. Issues of digital transformation of agriculture / V.E. Torikov, V.A. Pogonyshev, D.A. Pogonysheva et al. // Innovative technologies in agriculture: international scientific and practical conference. AIP conference proceedings. AIP Publishing, 2023. Vol. 2921, Is. 1. P. 080001.

9. Гордеев А.С. Моделирование в агроинженерии: учеб. 2-е изд. испр. и доп. СПб.: Лань, 2021. 384 с.
10. Худякова Е.В., Липатов А.А. Имитационное моделирование процессов и систем в АПК: учеб. М.: ИКЦ «Колос-с», 2021. 256 с.
11. Алетдинова А., Ленский А., Цыбина Я. Имитационное моделирование как современный инструмент для формирования машинно-тракторного парка // Аграрная экономика. 2019. № 3. С. 48-54.
12. Модель сбора урожая в инструменте моделирования ANYLOGIC / Р.Р. Галимов, В.В. Тихоновский, Л.В. Гарафутдинова и др. // Южно-сибирский научный вестник. 2022. № 6 (46). С. 324-332.
13. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / под ред. А. Борова. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
14. Дорохов А.С., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 4. С. 14-25.
15. Цифровые двойники: прошлое, настоящее и будущее [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://up-pro.ru/library/information_systems/automation_project/proshloe-nastoyaschee-i-budushee/
16. Обзор различных систем CAD/CAM/CAE/GIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.cad.dp.ua/obzors/cads.php>.
17. Погоньшев В.А., Ториков В.Е., Погоньшева Д.А. Цифровые двойники в сфере АПК // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. С. 729-734.
18. Цифровые двойники как инструмент проектирования элементов машин и оборудования в АПК / В.А. Погоньшев, Д.А. Погоньшева, Т.М. Хвостенко, Я.С. Ковалев // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2024. № 1 (23). С. 8-12.
19. Ульянова Н.Д., Козарез И.В. Потенциал использования цифровых технологий для сельскохозяйственной техники // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. С. 595-600.
20. Ульянова Н.Д., Лямзин А.А., Феськов С.А. Трехмерное моделирование и компьютерный анализ деталей металлорежущих станков // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 2 (102). С. 61-67.

Информация об авторах:

В.А. Погоньшев – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Д.А. Погоньшева – доктор педагогических наук, профессор кафедры информатики, информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Н.Д. Ульянова – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики, информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors:

V.A. Pogonyshev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University.

D.A. Pogonysheva – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Informatics, Information Systems and Technologies, Bryansk State Agrarian University.

N.D. Ul'yanova – Candidate of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Informatics, Information Technology systems and Technologies, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.09.2024, одобрена после рецензирования 27.01.2025, принята к публикации 29.01.2025.

The article was submitted 18.09.2024, approved after reviewing 27.01.2025, accepted for publication 29.01.2025.

© Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А., Ульянова Н.Д.