

МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОФИЛЯ

Р.К. Расулов, младший научный сотрудник

А.К. Ламм, аспирант, младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

E-mail: rustam_rasulov_1998@mail.ru

Ключевые слова: технико-экономическое взаимодействие, цифровизация, аграрное производство, цифровой двойник, урожайность.

Реферат. Условия функционирования российского АПК сегодня характеризуются не только недобросовестной конкуренцией на глобальных рынках, но и объективными трансформационными процессами. Изменения технологий производства сельскохозяйственной продукции, цифровизация всех сфер производства требуют перестройки работы сельскохозяйственных организаций. При этом обозначенные структурные изменения на уровне производителей сельскохозяйственной продукции должны исходить из анализа объективных производственных и экономических показателей: урожайности и рентабельности. Цель исследования заключается в моделировании процесса повышения урожайности зерновых культур, обусловленного применением цифровых двойников в различных сферах сельскохозяйственного производства. Задачи исследования: выделить модели применения цифровых двойников в процессе производства зерновых культур; разработать основные методические положения создания цифрового двойника сельскохозяйственной специализации; обозначить современную и перспективную роль цифровых двойников в сельскохозяйственном производстве. Научная новизна и практическая значимость результатов исследования: разработаны модели применения цифровых двойников сельскохозяйственной специализации по стадиям производственного процесса и инфраструктурным секторам его обеспечения; сформулированы концептуальные положения методических рекомендаций по разработке цифровых двойников сельскохозяйственной специализации; определены современное и перспективное значение цифровых двойников в процессе повышения урожайности зерновых, а также перспективы их использования в АПК.

MODELS FOR INCREASING PRODUCTIVITY BASED ON THE INTEGRATED APPLICATION OF AGRICULTURAL DIGITAL TWINS

R.K. Rasulov, Junior researcher

A.K. Lamm, PhD student, Junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center Russian Research Institute of Agricultural Mechanization (RRIAM), Moscow, Russia

E-mail: rustam_rasulov_1998@mail.ru

Keywords: technical and economic interaction, digitalisation, agricultural production, digital twin, grain yield.

Abstract. The operating conditions of the Russian agro-industrial complex today are characterised by unfair competition in global markets and objective transformation processes. Changes in agricultural production technologies and the digitalisation of all production areas require a restructuring of the work of farming organisations. At the same time, the indicated structural changes at the level of agricultural producers should be based on an analysis of objective production and economic indicators: yield and profitability. The purpose of the study is to model the process of increasing the yield of grain crops due to the use of digital twins in various areas of agricultural production. Research objectives: to identify models for the use of digital twins in the production of grain crops; develop introductory methodological provisions for creating a digital twin of agricultural specialisation; outline the current and future role of digital twins in agricultural production. Scientific novelty and practical significance of the research results: models for the use of digital twins of agricultural specialisation at the stages of the production process and infrastructure sectors for its support have been developed; conceptual provisions of methodological recommendations for the development of digital twins of agricultural specialisation have been formulated; the current and future significance of digital twins in the process of increasing grain yields has been determined, as well as the prospects for their use in the agricultural sector.

Разработка технико-технологических решений по повышению урожайности сельскохозяйственных культур, в особенности зерновых, отвечает задачам государственной аграрной политики.

Цифровизация сельскохозяйственного производства является структурным сдвигом, обусловленным мировыми тенденциями урбанизации, деградации потенциала сельских территорий и т.д., которые порождают множество вызовов и угроз.

Основными вызовами и угрозами в агропроизводственной сфере сегодня являются снижение цен на сельскохозяйственное сырье и продовольствие, интенсификация деградации земель сельскохозяйственного назначения и т. д. [1–3].

Значимым аспектом актуальности темы исследования является свойство цифровых технологий, в частности цифровых двойников, реализовывать междисциплинарный (межотраслевой) подход при моделировании производственных и управленческих процессов в АПК и сельскохозяйственных организациях [4, 5].

Производственные отношения претерпевают существенные изменения при внедрении технологии цифровых двойников на предприятии. Формируется новая культура производственных отношений в отрасли и внешнем окружении сельскохозяйственных предприятий [6, 7].

Цель исследования заключается в моделировании процесса повышения урожайности зерновых культур с применением цифровых двойников.

Задачи исследования:

1) выделить модели применения цифровых двойников в процессе производства зерновых культур;

2) разработать основные методические положения разработки цифрового двойника сельскохозяйственной специализации;

3) обозначить современную и перспективную роль цифровых двойников в сельскохозяйственном производстве.

Научная новизна и практическая значимость результатов исследования:

1) разработаны модели применения цифровых двойников сельскохозяйственной специали-

зации по стадиям производственного процесса и инфраструктурным секторам его обеспечения;

2) сформулированы концептуальные положения методических рекомендаций по разработке цифровых двойников сельскохозяйственной специализации;

3) определено современное и перспективное значение цифровых двойников в процессе повышения урожайности зерновых, а также перспективы их использования в АПК.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является процесс повышения урожайности зерновых культур посредством применения технологии цифровых двойников в различных сферах сельскохозяйственного производства.

Предмет исследования определяется условиями повышения урожайности зерновых культур, обусловленными применением цифровых двойников.

Методология исследования основана на инструментарии технолого-производственного, отраслевого, цифрового подходов.

Основой исследования выступили методические положения разработки цифрового двойника, развитие которых осуществлялось методом соотношения с технологическими требованиями производства зерновых культур.

В ходе исследования применялся комплекс общенаучных методов исследования: абстрактно-логический, технико-экономический, расчетно-конструктивный, графический, монографический и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность зерновых является показателем, отражающим технико-технологические инновации в растениеводстве. Потенциал её повышения раскрывается посредством совершенствования селекции, разработки или совершенствования технологии возделывания, разработки или модернизации специальной техники, которая осуществляет производственные процессы и операции.

Концептуальная модель повышения урожайности зерновых культур представлена на рисунке.



Концептуальная модель повышения урожайности зерновых культур
A conceptual model for increasing grain yields

На рисунке показано, что урожайность является наукоёмким показателем, при этом максимально отдалённым от конъюнктурных воздействий.

Повышение урожайности достигается созданием и культивированием сортов зерновых культур, адаптированных к природно-климатическим условиям возделывания.

Именно на стадии выведения сорта зерновых культур закладываются параметры, позволяющие обеспечить достижение необходимых товарных свойств. В частности, производимое

зерно (например, пшеница) должно соответствовать хлебопекарным требованиям (табл. 1).

Ориентируясь на показатели, представленные в табл. 1, можно определить границы обеспечения уровня товарности зерна и его класс. Их достижение возможно при обеспечении определённых условий возделывания – технологии.

Технология возделывания сельскохозяйственной культуры включает в себя комплекс не только технических рекомендаций, но и условий использования земли.

Таблица 1

Стандартизированные нормативные технологические показатели качества сортов пшеницы
Standardised normative technological indicators of the quality of wheat varieties

Показатель	Сильная (улучшитель)	Средняя по силе (ценная по качеству)	Филлер	Слабая
Стекловидность, %	Не менее 60	Не менее 45	Не менее 40	Не ограничивается
Белок, %	Не менее 13,5	Не менее 12,5	Не менее 11,0	Не менее 8,0
Клейковина, %	Не менее 28,0	Не менее 25,0	Не менее 22,0	Не менее 16,0
Валориметрическая оценка, е.в.	Не менее 70,0	Не менее 55,0	Не менее 30,0	Менее 30
Разжижение, е.ф.	Не более 70	Не более 90	Не более 150	Более 150
Сила муки, е.а.	310–400	170–300	130–180	90–130
Объём хлеба, мл	850–2300			
ИДК, у.п.	43–85	40–90	35–90	18–102
Общая хлебопекарная оценка, баллов	4,5–4,7	3,6–4,4	3,0–3,5	Менее 3,0

Источник: составлено по данным ГОСТов [7–23].

Технологические условия предполагают учёт принципа агроценоза, т.е. необходимо полностью учитывать как вегетативные условия возделывания сорта культуры, так и влияние сельскохозяйственного производства на биоценозы (отношения видов определённых природных ниш, например, почвы) и функционирование природных систем (например, подземные воды).

Выращивание различных сортов сельскохозяйственных культур предполагает применение пестицидов и удобрений. Помимо их использования сельскохозяйственной культурой в процессе вегетации, они оказывают влияние на состав почвы – условия жизнедеятельности микроорганизмов.

Важнейшим фактором достижения планово-сортового уровня урожайности и его повышения является качество реализации производственных операций. Оно, в свою очередь, обеспечивается применением специальной техники.

Специализированная сельскохозяйственная техника позволяет повысить урожайность как за счёт уменьшения потерь урожая при выполнении производственных операций, так и сокращения их сроков, особенно при уборке урожая.

Агротехнологические сроки, установленные для зерновых культур в разных районах России, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Агротехнологические сроки уборки зерновых колосовых культур по зонам Российской Федерации
Agrotechnological terms for harvesting cereal crops by zones of the Russian Federation

Зоны возделывания	Агротехнологический срок уборки, сут	Нормативная урожайность, ц/га
1	2	3
Всего по России	-	34,0
Северо-Западный район	10	21,7
Центрально-Нечернозёмный район	10	28,3
Волго-Вятский район	10	19,8
Центрально-Чернозёмный район	15	37,2
Поволжский район	7	30,7

1	2	3
Северо-Кавказский район	6	45,9
Уральский район	10	20,0
Западно-Сибирский район	10	17,6
Восточно-Сибирский район	10	17,3
Дальневосточный район	10	9,8

Источник: [24].

Данные табл. 2 относительно агротехнологических сроков являются усреднёнными, как и данные по нормативной урожайности. Для каждого района разработаны адаптированные к местным природно-климатическим условиям сорта.

Повышение урожайности зерновых посредством совершенствования организационно-экономических условий использования сельскохозяйственной техники и оборудования требует решения двух проблем.

Во-первых, следует отметить наличие хозяйственно-экономического парадокса, заключающегося в экономической рентабельности применения простой сельскохозяйственной техники производителями зерновых культур в регионах России с неблагоприятными для ведения сельского хозяйства условиями. При этом отечественная техника допускает больший объём потерь урожая по сравнению с зарубежной. Но у зарубежной аналогичной или более мощной техники и агрегатов существенно выше объём затрат на ремонт и обслуживание, а также более высокие требования к квалификации работников [25].

Во-вторых, период уборки зерновых приходится на период с высоким риском выпадения осадков, зачастую затяжного характера, что существенно увеличивает риски потерь урожая. Уменьшение данных рисков возможно за счёт увеличения числа уборочной техники и сокращения сроков уборки до 2–3 суток. Такой подход предполагает повышение затрат сельхозтоваропроизводителей, связанных с необходимостью содержания специальной сельскохозяйственной техники в межсезонный период.

Как показано на рисунке, оценка результативности мер по повышению урожайности

осуществляется на основе показателя рентабельности. Он показывает целесообразность реализации мероприятий по увеличению урожайности, т.к. рост экономических показателей имеет предел, определяемый эффектом масштаба. Другими словами, необходимо соизмерять предельные затраты и предельную прибыль на производство дополнительной единицы продукции.

Представленное выше описание процесса повышения урожайности зерновых культур по ключевым направлениям показывает, что рассматриваемый процесс является многофакторным и многообъектным. Его моделирование требует формирования больших данных различного информационного характера, а также выявления и описания множества связей.

Перед агрономами и производителями сельскохозяйственного сырья, в аспекте накопленных знаний и различных структурных сдвигов, влияющих на сферу аграрного производства, встаёт хозяйственная проблема – учёт особенностей и требований сельскохозяйственного производства при выращивании зерновых культур с обеспечением рентабельности и устойчивости.

Решение обозначенной важной хозяйственной проблемы возможно на основе применения технологии цифровых двойников на различных стадиях организации и реализации производственного процесса.

Цифровой двойник – компьютерная (математическая) модель, имеющая связь с реальным физическим объектом [26].

Применение моделей цифровых двойников для повышения урожайности зерновых культур представлено в табл. 3.

Применение моделей цифровых двойников для повышения урожайности зерновых культур
Application of digital twin models to increase grain yields

Модель цифрового двойника	Направления повышения урожайности зерновых культур		
	Селекция	Технология	Техника
Цифровой двойник биообъекта / рабочего органа	Моделирование геометрии зерна	Моделирование структуры почв и их геометрии	Проектирование рабочего органа с инновационными характеристиками
	Формирование информационно-аналитической базы	Формирование информационно-аналитической базы	Проведение виртуальных экспериментов
			Формирование информационно-аналитической базы
Цифровой двойник процесса	Моделирование процесса роста сорта зерновой культуры	Моделирование климатических условий в течение вегетационного периода	Моделирование процесса взаимодействия с биообъектами
		Моделирование параметров возделывания сорта зерновой культуры	Проектирование ландшафтных особенностей конкретных обрабатываемых участков
Цифровой двойник системы	Моделирование агроценоза		

Источник: собственные исследования.

Представленные в табл. 3 модели применения цифровых двойников сельскохозяйственной специализации распределены по укрупнённым стадиям производственного процесса и его инфраструктурного обеспечения.

При решении научно-практической задачи по разработке цифрового двойника в ходе исследования были сформулированы соответствующие научно-методические положения.

Концептуальные положения методических рекомендаций по разработке цифровых двойников сельскохозяйственной специализации:

1. Алгоритм создания цифрового двойника.

1.1. Определение цели создания цифрового двойника.

1.2. Определение параметров цифрового двойника.

1.3. Определение способа разработки цифрового двойника.

1.4. Разработка математической модели цифрового двойника.

1.5. Формирование информационного каркаса цифрового двойника.

1.6. Валидация цифрового двойника.

1.7. Обеспечение связи с физическими объектами.

1.8. Интеграция цифровых двойников различных моделей.

2. Подготовительный этап.

2.1. Определение цели создания цифрового двойника.

Цель разработки цифрового двойника определяется на основе анализа существующих проблем и вызовов, связанных с проектированием, использованием и оптимизацией объекта.

Целями разработки цифрового двойника могут быть: улучшение производительности; оптимизация работы; снижение затрат; сокра-

щение негативного влияния на окружающую среду и др.

2.2. Определение цели разработки цифрового двойника является основанием формирования системы требований, задач, решаемых цифровым двойником.

Задачи и требования должны быть измеримы и давать возможность сформулировать ожидаемые результаты, показатели эффективности.

2.3. Параметры цифрового двойника.

Цифровой двойник представляет собой комплекс показателей, отражающих основные характеристики описываемых объектов.

Следует определить характеристики, наиболее полно отражающие структуру объекта, возможные ограничения и ограничивающие факторы.

2.4. Информационный каркас цифрового двойника.

Цифровой двойник основывается на моделировании структуры.

Требуется сформировать массивы (базы) данных по показателям, отражающим специфику описываемого объекта, а также базы данных, учитывающих воздействие динамических факторов.

Целесообразно сформировать библиотеку моделей и алгоритмов поведения при воздействии динамических факторов разной комбинации и силы.

3. Этап разработки цифрового двойника.

3.1. Разработка цифрового двойника возможна на основе использования собственного, внешнего и смешанного (собственного с внешним) программного обеспечения.

Исходя из требований обеспечения технологического суверенитета и класса задач, для решения которых используется технология цифровых двойников, рекомендуется выбирать отечественное программное обеспечение.

Выбор программного обеспечения необходимо осуществлять с учётом уровня возможности изменения исходных настроек моделирования.

Программное обеспечение должно формировать возможность интеграции с другими программными продуктами аналогичного класса.

Создание собственного программного обеспечения целесообразно в случае отсутствия на рынке программных решений, удовлетворяю-

щих уникальным требованиям разрабатываемого цифрового двойника.

3.2. Разработка математической модели цифрового двойника.

Основой математической модели является перечень параметров цифрового двойника.

Математическая модель должна учитывать физические законы, математические уравнения, описывающие поведение объекта при различных параметрах структуры и воздействия.

Высокий уровень реалистичности и точности цифрового двойника достигается при использовании данных, полученных с объекта.

Математическая модель должна учитывать воздействие динамических факторов.

3.3. Создание цифрового двойника.

Создание цифрового двойника осуществляется в рамках программного обеспечения.

Цифровой двойник может быть сформирован посредством применения нуль-, одно-, многомерного моделирования.

Выбор размерности цифрового двойника определяется возможностями расчёта и программного обеспечения.

Представление результатов работы цифрового двойника возможно в формате таблицы параметров с соответствующим описанием и пояснением.

Цифровой двойник должен содержать инструменты обеспечения безопасности данных, безопасности доступа к цифровому двойнику и безопасности цифрового двойника в рамках интеграционной системы.

Необходимо уделить повышенное внимание конфиденциальности и защите коммерческих и интеллектуальных прав, связанных с цифровым двойником.

4. Валидация цифрового двойника.

4.1. Цифровой двойник тестируется на адекватность результатов и соответствие их логике.

4.2. Верификация компьютерной модели. Проводится по итогам её разработки и в случае необходимости по итогам тестирования цифрового двойника.

4.3. Натурные испытания проводятся на физическом объекте, являющемся прототипом (физической частью) цифрового двойника.

Представленные концептуальные научно-методические положения по разработке цифровых двойников сельскохозяйственной

специализации показывают высокий уровень наукоёмкости и трудоёмкости создания и эксплуатации цифрового двойника.

Сегодня в АПК России технологию применяет около 1,5% сельскохозяйственных организаций [27].

Учитывая ограничения на приобретение иностранной сельскохозяйственной техники, значение технологии цифровых двойников существенно возрастает за счёт их применения как для разработки и производства отечественных сельскохозяйственных машин и оборудования, так и в системе планирования работы, ремонта и обслуживания имеющегося у производителей сельскохозяйственной продукции парка сельхозтехники.

Значение применения цифровых двойников в процессе выращивания сельскохозяйственных культур, в частности зерновых, определяется повышением уровня урожайности за счёт увеличения точности планирования (моделирования) сельскохозяйственных работ, сокращения затрат на производственную логистику, ремонт и обслуживание парка сельскохозяйственных машин и оборудования.

Особое значение имеют цифровые двойники систем, например, сельскохозяйственных организаций, позволяющие находить оптимальные решения в системе «урожайность – рентабельность», обеспечивая максимизацию использования производственных мощностей.

Перспективное значение цифровых двойников в процессе повышения урожайности зерновых определяется включением в их структуру блока сбора и анализа локальных метеорологических данных [28].

Разработка цифровых двойников в рамках исследования рассматривается с позиций их сельскохозяйственной специализации, что раскрывается применением данной технологии на этапах селекционной работы и определения технологии выращивания.

В научной литературе разработка цифровых двойников рассматривается через функциональные стадии, от простейшего – начального до автономного [29]. Их создание определяется также целями, уровнем адекватности, отношением к реальному объекту (характером связи с ним) и т.д. [30].

Применение цифровых двойников в сельскохозяйственном производстве является нормой государственной аграрной политики и системы мер по достижению национальной цели развития – цифровизации отраслей [31].

Цифровизация АПК приводит к изменениям практик взаимодействия в сельских территориях [6], что требует учёта данных процессов при цифровом моделировании функционирования сельскохозяйственной организации и производственного процесса в части взаимодействия с контрагентами.

Влияние цифровизации АПК в целом и отдельных практик взаимодействия в рамках производства широко рассматривается в контексте глобальных и национальных трансформаций аграрного сектора [6, 1, 7].

Полученные результаты рассмотрения применения цифровых двойников для повышения урожайности зерновых культур, представленные в качестве анализа различных связей с хозяйственно-экономическими показателями, нашли подтверждение в исследованиях междисциплинарного характера: в сфере экономики [3–5], определившие цифровизацию как новую форму экономического взаимодействия; в институциональной сфере [2], выявившие технологические сдвиги в производстве зерновых культур, в т.ч. обусловленные цифровизацией вторичного и суверенного характера, а также определившие перспективы применения цифровых технологий в АПК; в технико-технологической сфере производства зерновых культур [32], обозначившие направления совершенствования производственного процесса; в технико-технологической сфере [33–36], характеризующие направления развития агроинженерных цифровых систем в сельском хозяйстве и приоритетные направления научно-технологического развития сельскохозяйственного машиностроения.

ВЫВОДЫ

1. Повысить урожайность зерновых возможно на основе применения различных моделей цифровых двойников (биообъектов (рабочих органов), процессов и систем), получая эффект от каждого из них как в форме сокращения потерь урожая и производственных расходов, так и посредством повышения качества управления.

2. Применение цифровых двойников с целью повышения урожайности целесообразно на всех стадиях сельскохозяйственного производства, начиная с селекционной работы.

3. Создание и эксплуатация цифровых двойников сельскохозяйственного назначения требует научно-методического обеспечения,

учитывающего особенности технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

4. Перспективы применения цифровых двойников для повышения урожайности связаны с расширением их информационно-аналитического функционала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Развитие бережливого производства: принципы, подходы, направления реализации: метод. указания* / Е.И. Семенова, О.А. Родионова, А.С. Труба [и др.]. – М.: Сам Полиграфист, 2019. – С. 117.
2. *Совершенствование институциональной инфраструктуры АПК: вопросы теории и практики: монография* / под ред. акад. РАН А.Н. Семина. – М.: КОЛ ЛОК, 2023. – С. 8–123; 278–330.
3. *Кислицкий М.М.* Трансформация условий и экономических отношений в системе обеспечения населения продовольствием: монография. – М.: ВНИИЭСХ, 2018. – С. 22–39.
4. *Стадник А.Т., Кабаков В.М., Кабакова О.Г.* Техническая оснащённость сельскохозяйственного производства региона и пути её совершенствования // Вестник Новосибирского государственного университета. – 2018. – № 1. – С. 54, 166–173.
5. *Теория, методология и практика реализации эквивалентных межотраслевых отношений в АПК: монография* / под ред. проф. О.А. Родионовой. – М.: Фонд «Кадровый резерв», 2019. – С. 24.
6. *Кислицкий М.М., Логачева О.В.* Трансформация социально-экономических практик сельского населения под воздействием цифровых структурно-технологических изменений в сельскохозяйственных организациях // ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика. – 2019. – № 3. – С. 119–129. – DOI: 10.24411/2071-6435-2019-10094. 6.
7. *Трансформационные процессы и адаптация хозяйствующих субъектов аграрной сферы: монография* / под науч. ред. проф. О.А. Родионовой. – М.: Сам Полиграфист, 2020. – С. 106.
8. *ГОСТ ISO 3093* Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга–Пертена. – М.: Стандартиформ, 2016.
9. *ГОСТ ISO 5530-1*. Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1: Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа. – М.: Стандартиформ, 2014.
10. *ГОСТ ISO 7973* Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа. – М.: Стандартиформ, 2014.
11. *ГОСТ 9353* Пшеница. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019.
12. *ГОСТ 10940* Зерно. Методы определения типового состава. – М.: Стандартиформ, 2009.
13. *ГОСТ 10967* Зерно. Методы определения запаха и цвета. – М.: Стандартиформ, 2019.
14. *ГОСТ 10840* Зерно. Метод определения натурности. – М.: Стандартиформ, 2019.
15. *ГОСТ 10846* Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – М.: Стандартиформ, 2009.
16. *ГОСТ 10987* Зерно. Методы определения стекловидности. – М.: Стандартиформ, 2009.
17. *ГОСТ 13496.20* Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения остаточных количеств пестицидов. – М.: Стандартиформ, 2014.
18. *ГОСТ 13586.1* Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. – М.: Стандартиформ, 2009.
19. *ГОСТ 13586.3* Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. – М.: Стандартиформ, 2019.
20. *ГОСТ 13586.4* Зерно. Методы определения зараженности и поврежденности вредителями. – М.: Стандартиформ, 2009.
21. *ГОСТ 13586.5* Зерно. Метод определения влажности. – М.: Стандартиформ, 2019.
22. *ГОСТ 13586.6* Зерно. Методы определения зараженности вредителями. – М.: Стандартиформ, 2009.

23. ГОСТ 34165 Зерновые, зернобобовые и продукты их переработки. Методы определения загрязненности насекомыми-вредителями. – М.: Стандартиформ, 2018.
24. *Нормы технологического проектирования семейных ферм зернового направления и зернообработывающих предприятий малой площади (НТП 16 М-93):* утв. Минсельхозом России 29.10.1993 г. – М., 1993.
25. *Сёмин А.Н., Иовлев Г.А.* Сравнительный анализ эффективности функционирования отечественной и зарубежной сельскохозяйственной техники // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2018. – № 5. – С. 17–21.
26. ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021.
27. *Эффекты от применения цифровых двойников в сельском хозяйстве / Я.П. Лобачевский, Д.А. Миронов [и др.]* // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (103). – С. 71–78. – DOI: 10.21515/1999-1703-103-71-78.
28. *Лобачевский Я.П., Дорохов А.С.* Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 6–10.
29. *Цифровые и проектные ориентиры трансформации экономического взаимодействия хозяйствующих субъектов аграрной сферы: монография / В.В. Милосердов, О.А. Родионова, Е.И. Семёнова [и др.]; под науч. ред. О.А. Родионовой.* – М.: Сам Полиграфист, 2021. – С. 35.
30. *Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А.* Типологизация цифровых двойников (Digital Twins) // Кластеризация цифровой экономики: Глобальные вызовы: сб. тр. нац. науч.-практ. конф.: в 2 т. – СПб.: Политех-Пресс, 2020. – Т. 2. – С. 473–482.
31. *Стратегическое направление в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года:* утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.12.2021 № 3971-р. – М., 2021.
32. *Сёмин А.Н., Иовлев Г.А.* Исследование эффективности технологического процесса обмолота зерновых культур // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2018. – № 7. – С. 25–27.
33. *Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Ю.Х. Шогенов* // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 3 (297). – С. 2–9.
34. *Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве (окончание) / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Ю.Х. Шогенов* // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 4 (298). – С. 2–6.
35. *Приоритетные направления научно-технологического развития отечественного тракторостроения / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский [и др.]* // Сельский механизатор. – 2021. – №2. – С. 3–5.
36. *Приоритетные направления научно-технологического развития отечественного тракторостроения / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский [и др.]* // Сельский механизатор. – 2021. – №3. – С. 2–4.

REFERENCES

1. Semenova E.I., Rodionova O.A., Truba A.S. [i dr.], *Razvitie berezhlivogo proizvodstva: principy, podhody, napravleniya realizacii* (Development of lean manufacturing: principles, approaches, directions for implementation), Moscow: Sam Poligrafist, 2019, pp. 117.
2. *Sovershenstvovanie institucional'noj infrastruktury APK: voprosy teorii i praktiki* (Improving the institutional infrastructure of the agro-industrial complex: issues of theory and practice), pod red. akad. RAN A.N. Semina, Moscow: KOL LOK, 2023, pp. 8–123; 278–330.
3. Kislickij M.M., *Transformacija uslovij i jekonomicheskikh otnoshe-nij v sisteme obespechenija naselenija prodovol'stvijem* (Transformation of conditions and economic relations in the food supply system), Moscow: VNIJeSH, 2018, pp. 22–39.
4. Stadnik A.T., Kabakov V.M., Kabakova O.G., *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No. 1, pp. 54, 166–173. (In Russ.)

5. *Teorija, metodologija i praktika realizacii jekvivalentnyh mezhotraslevykh otnoshenij v APK* (Theory, methodology and practice of implementing equivalent intersectoral relations in the agro-industrial complex), pod red. prof. O.A. Rodionovoj, Moscow: Fond «Kadrovyy rezerv», 2019, pp. 24.
6. Kislickij M.M., Logacheva O.V., *JeTAP: Jekonomicheskaja Teorija, Analiz, Praktika*, 2019, No. 3, pp. 119–129, DOI: 10.24411/2071-6435-2019-10094. 6.
7. *Transformacionnyye processy i adaptacija hozjajstvujushhih sub#ektov agrarnoj sfery* (Трансформационные процессы и адаптация хозяйствующих субъектов аграрной сферы), pod nauch. red. prof. O.A. Rodionovoj, Moscow: Sam Poligrafist, 2020, pp. 106.
8. *GOST ISO 3093 Zerno i produkty ego pererabotki. Opredelenie chisla padenija metodom Hagberga–Pertena*, Moscow: Standartinform, 2016. (In Russ.)
9. *GOST ISO 5530-1, Muka pshenichnaja. Fizicheskie karakteristiki testa. Chast' 1: Opredelenie vodopogloshhenija i reologicheskikh svojstv s primeneniem farinografa*, Moscow: Standartinform, 2014. (In Russ.)
10. *GOST ISO 7973 Zerno i zernoprodukty. Opredelenie vjazkosti s primeneniem amilografa*, Moscow: Standartinform, 2014. (In Russ.)
11. *GOST 9353 Pshenica. Tehnicheskie uslovija*, Moscow: Standartinform, 2019. (In Russ.)
12. *GOST 10940 Zerno. Metody opredelenija tipovogo sostava*, Moscow: Standartinform, 2009. (In Russ.)
13. *GOST 10967 Zerno. Metody opredelenija zapaha i cveta*, Moscow: Standartinform, 2019. (In Russ.)
14. *GOST 10840 Zerno. Metod opredelenija natury*, – Moscow: Standartinform, 2019. (In Russ.)
15. *GOST 10846 Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredelenija belka*, Moscow: Standartinform, 2009. (In Russ.)
16. *GOST 10987 Zerno. Metody opredelenija steklovidnosti*, Moscow: Standartinform, 2009. (In Russ.)
17. *GOST 13496.20 Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metod opredelenija ostatochnykh količestv pesticidov*, Moscow: Standartinform, 2014. (In Russ.)
18. *GOST 13586.1 Zerno. Metody opredelenija količestva i kachestva klejkoviny v pshenice*, Moscow: Standartinform, 2009. (In Russ.)
19. *GOST 13586.3 Zerno. Pravila priemki i metody otbora prob*. Moscow: Standartinform, 2019. (In Russ.)
20. *GOST 13586.4 Zerno. Metody opredelenija zarazhennosti i povrezhdennosti vrediteljami*, Moscow: Standartinform, 2009. (In Russ.)
21. *GOST 13586.5 Zerno. Metod opredelenija vlazhnosti*, Moscow: Standartinform, 2019. (In Russ.)
22. *GOST 13586.6 Zerno. Metody opredelenija zarazhennosti vrediteljami*, Moscow: Standartinform, 2009. (In Russ.)
23. *GOST 34165 Zernovye, zernobobovye i produkty ih pererabotki. Metody opredelenija zagryzannosti nasekomymi-vrediteljami*, Moscow: Standartinform, 2018. (In Russ.)
24. *Normy tehnologicheskogo proektirovanija semejnyh ferm zernovogo napravlenija i zernoobrabatyvajushhih predpriyatij maloj ploshhadi* (Standards for technological design of family grain farms and small grain processing enterprises), (NTP 16 M-93): utv. Minsel'hozom Rossii 29.10.1993 g., Moscow, 1993.
25. Sjomin A.N., Iovlev G.A., *Jekonomika sel'skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predpriyatij*. 2018, No. 5, pp. 17–21. (In Russ.)
26. *GOST R 57700.37–2021 Komp'juternye modeli i modelirovanie. Cifrovye dvojniki izdelij. Obshhie položenija*, Moscow: Ros. in-t standartizacii, 2021.
27. Lobachevskij Ja.P., Mironov D.A. [i dr.], *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 1 (103), pp. 71–78, DOI: 10.21515/1999-1703-103-71-78. (In Russ.)
28. Lobachevskij Ja.P., Dorohov A.S., *Sel'skohozjajstvennyye mashiny i tehnologii*, 2021, T. 15, No. 4, pp. 6–10. (In Russ.)
29. Miloserdov V.V., Rodionova O.A., Semjonova E.I. [i dr.], *Cifrovye i proektnye orientiry transformacii jekonomicheskogo vzaimo-dejstvija hozjajstvujushhih sub#ektov agrarnoj sfery* (), pod nauch. red. O.A. Rodionovoj, Moscow: Sam Poligrafist, 2021, pp. 35.
30. Borovkov A.I., Rjabov Ju.A., Gamzikova A.A., *Klasterizacija cifrovoj jekonomiki: Global'nye vyzovy* (Clustering the digital economy: Global challenges), Proceedings of the conference Title, Sankt–Peterburg: Politeh-Press, 2020, T. 2, pp. 473–482. (In Russ.)
31. *Strategicheskoe napravlenie v oblasti cifrovoj transformacii otraslej agropromyshlennogo i rybohozjajstvennogo kompleksov Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda*: utv. Rasporjazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29.12.2021 № 3971-r., Moscow, 2021. (In Russ.)

32. Sjomina A.N., Iovlev G.A., *Jekonomika sel'skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predpriyatij*, 2018, No. 7. pp. 25–27. (In Russ.)
33. Lachuga Ju.F., Izmajlov A.Ju., Lobachevskij Ja.P., Shogenov Ju.H., *Tehnika i oborudovanie dlja sela*, 2022, No. 3 (297), pp. 2–9. (In Russ.)
34. Lachuga Ju.F., Izmajlov A.Ju., Lobachevskij Ja.P., Shogenov Ju.H., *Tehnika i oborudovanie dlja sela*, 2022, No. 4 (298), pp. 2–6. (In Russ.)
35. Lachuga Ju.F., Izmajlov A.Ju., Lobachevskij Ja.P. [i dr.], *Sel'skij mehanizator*, 2021, No. 2, pp. 3–5. (In Russ.)
36. Lachuga Ju.F., Izmajlov A.Ju., Lobachevskij Ja.P. [i dr.], *Sel'skij mehanizator*, 2021, No. 3, pp. 2–4. (In Russ.)