

Цифровые технологии в системах поддержки принятия решений для животноводства

Д.В. Гринченков, И.В. Романенко, В.К. Профатило

Южно-Российский государственный политехнический университет

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация: В статье рассматриваются современные цифровые и математические технологии, применяемые в системах поддержки принятия решений (СППР) для управления животноводческими предприятиями. Особое внимание уделено вопросам оптимизации кормления животных с использованием предиктивных алгоритмов, автоматизированных систем и анализа больших данных. Представлены архитектура СППР и примеры успешной интеграции. Определены ключевые рекомендации по повышению эффективности управления в СППР, каждая из которых сопровождается методологическим обоснованием и практической значимостью.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, животноводство, оптимизация кормления, математические модели, большие данные, искусственный интеллект, автоматизация, предиктивные алгоритмы, интернет вещей, цифровое сельское хозяйство.

Актуальность темы. В условиях перехода России к цифровой экономике внедрение систем поддержки принятия решений (далее СППР, англ. Decision Support System, DSS) на предприятиях животноводства становится важным инструментом для повышения их эффективности и конкурентоспособности. Такие системы позволяют руководителям принимать более обоснованные решения на основе анализа данных, обеспечивая при этом достоверную информацию о состоянии объектов фермы и возможность создания соответствующих информационных моделей. С аналитической точки зрения СППР помогают создавать архивы документов, оперативно искать, оценивать и систематизировать информацию, проводить различные виды анализа (обзорный, сравнительный, динамический), разрабатывать гипотезы, прогнозировать развитие ситуации, а также формировать сводки и отчеты.

Животноводческие предприятия в свою очередь функционируют в условиях высокой неопределенности, обусловленной такими факторами, как

изменение погодных условий, заболевания животных, колебания цен и другие риски. В связи с этим особую значимость приобретает наличие системы, способной обеспечить руководителей инструментами для принятия обоснованных решений в сжатые сроки.

Так, в 2019 году был запущен правительством России проект «Цифровое сельское хозяйство» с целью повышения эффективности и конкурентной способности сельского хозяйства через внедрение цифровых технологий. Главной задачей проекта является создание цифровой среды для сельского хозяйства, которая позволит улучшить качество и количество производства, а также оптимизировать затраты на ресурсы. В рамках проекта планируется внедрение таких технологий, как дистанционное зондирование, геоинформационные системы, интернет вещей, машинное обучение и искусственный интеллект. Однако эффективность цифровой трансформации ограничивается низкой квалификацией кадров и высокой зависимостью от импортных цифровых решений [1].

Проект «Цифровое сельское хозяйство» включает в себя несколько ключевых направлений:

1. Создание цифровых карт полей, которые позволят анализировать состояние почвы, степень увлажнения, уровень урожайности и другие характеристики.
2. Внедрение систем мониторинга состояния растений и животных, которые позволят своевременно обнаруживать заболевания и проводить необходимые мероприятия.
3. Разработка цифровых сервисов для управления сельскохозяйственными процессами, таких как планирование посевов, удобрений, обработки почвы, и т. д.

4. Создание электронных торговых площадок для продажи сельскохозяйственной продукции, которые позволят упростить процесс закупок и продаж.
5. Внедрение цифровых технологий в образование и научные исследования в области сельского хозяйства.

Сельское хозяйство представляет собой сложную многокомпонентную систему, включающую технологические, экономические и экологические процессы. Для эффективного управления применяются различные системы, среди которых автоматизированные системы управления и системы поддержки принятия решений позволяют оптимизировать стратегическое и тактическое планирование благодаря интеллектуальному анализу данных и прогнозированию на основе накопленного опыта [2].

На рис. 1 представлены цифровые технологии и роботизированные системы на основе искусственного интеллекта, которые применяются в различных направлениях сельского хозяйства по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО).

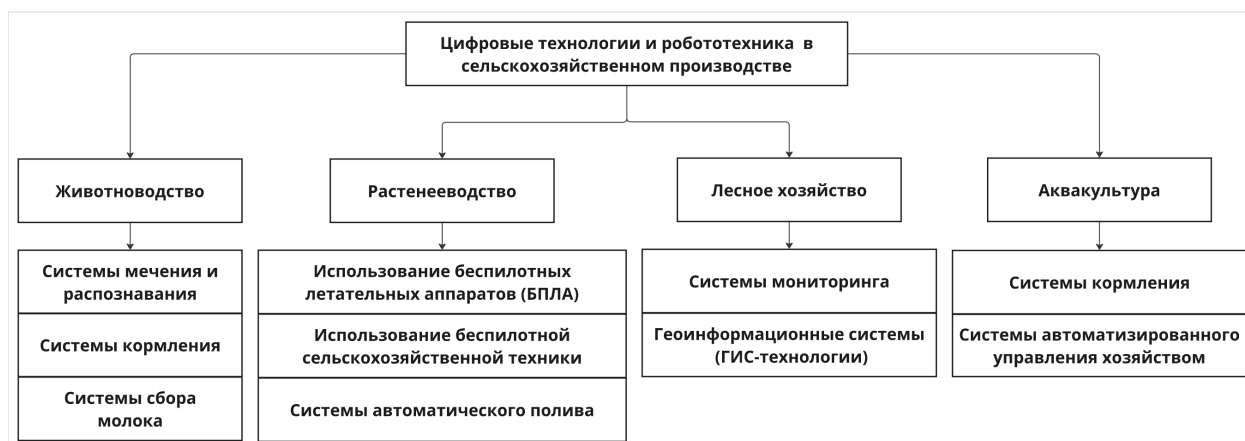


Рис. 1. - Цифровые технологии и робототехника в сельскохозяйственном производстве

Животноводство, как важная составляющая сельского хозяйства, требует особого внимания к процессам кормления, поскольку от них зависит не только продуктивность животных, а также здоровье стада и общая

экономическая эффективность фермы. Современные технологии управления позволяют значительно улучшить процессы кормления за счет цифровых решений и алгоритмов машинного обучения, которые обеспечивают динамическую адаптацию рационов в зависимости от текущих потребностей животных.

Оптимизация должна базироваться на анализе состава кормов, использовании математических моделей, автоматизированных систем и предсказательных алгоритмов, что позволяет добиться максимальной продуктивности и рентабельности.

Основные аспекты оптимизации кормления:

- анализ состава кормов;
- применение математических моделей;
- системы автоматизированного кормления;
- использование предсказательных моделей.

Рассмотрим существующие подходы к построению СППР. В контексте животноводства такие системы должны учитывать не только традиционные параметры, но и адаптироваться к постоянно меняющимся условиям, таким как сезонные колебания, изменения кормов и состояния здоровья животных. Эти особенности требуют разработки гибких и масштабируемых решений, способных эффективно интегрировать различные источники данных, такие как данные о кормлении, состоянии животных и внешней среде. Важным элементом таких систем является их способность к анализу больших данных и использованию предсказательных моделей для оптимизации процессов, что делает возможным автоматическое принятие решений в реальном времени.

Подходы к разработке систем поддержки принятия решений. В настоящее время существует широкий спектр принятых подходов к реализации систем поддержки принятия решений. В животноводстве такие системы применяются для таких задач как планирование производства,

управление затратами, анализ производственной деятельности, прогнозирование результатов и оптимизация ресурсов. На рис.2 изображено общее представление как устроена архитектура СППР. В зависимости от выбранной реализации, структура и функциональное наполнение каждого архитектурного слоя могут варьироваться, отражая специфику требований и целей системы.



Рис.2. - Общее представление архитектуры СППР

Функциональность СППР способна покрывать достаточно большой спектр задач. Их разработка и внедрение могут обеспечить предприятиям конкурентные преимущества, оптимизировать параметры функционирования, повысить эффективность разработки и принятия управленческих решений, снизить материальные затраты на выращивании и откорме скота, обеспечить реализацию их генетического потенциала.

СППР позволяют хранить и анализировать большие объемы данных о животных и производственных процессах. Это позволяет операторам фермы принимать более обоснованные решения и оптимизировать производство. В настоящее время одна молочная ферма может содержать десятки тысяч животных, и как следствие, обрабатывать информацию и управлять большими стадами для ветеринаров и работников фермы становится затруднительно. Такие объемы сложно обрабатывать без использования информационных технологий. Поэтому программное обеспечение снабжает их нужными, уже обработанными данными, алгоритмы интерпретируют

проблемы стада еще до появления проблем производительности в стадах. Например, системы мониторинга здоровья животных позволяют предотвратить падение производство молока вплоть до 10% [4], а также позволяют рано обнаруживать заболевания и предотвращать их распространение, что позволяет сократить затраты на лечение животных и снизить смертность.

СППР позволяют автоматизировать и оптимизировать производственные процессы. Использование систем управления поголовьем и системы автоматической дойки позволяют фермерам значительно сократить затраты на трудовые ресурсы, повысить качество продукции и улучшить условия содержания животных. Такие системы позволяют контролировать количество животных на ферме и оптимизировать производственные процессы. Например, компания Lely (Netherlands, Maassluis) разработала систему «Lely Astronaut», которая автоматически доит коров и контролирует количество молока, получаемого от каждой коровы. С помощью этой системы фермеры могут контролировать производственные процессы и оптимизировать поголовье коров на ферме [5].

Пример с компанией Lely не единственный успешный случай применения СППР в молочной отрасли животноводства. Например, в исследовании И.П.Болодуриной, С.А.Соловьева и С.С.Акимова [3], проведенном в рамках разработки СППР для повышения продуктивности молочного животноводства, упоминается использование математических моделей, основанных на анализе микроэлементного статуса животных, в системах «почва – корм – животное». Подобные системы позволяют компаниям оптимизировать кормление, учитывая потребности животных в питательных веществах и доступные корма, что способствует улучшению молочной продуктивности.

В одной из таких реализаций была проведена интеграция баз данных о потребностях в питательных веществах в расчетные программы, что позволило ветеринарам рекомендовать соответствующие корма в зависимости от экономической ситуации, доступности и ограничения по обработке данных, ведь зачастую самым дорогим аспектом ведения крупной молочной фермы является стоимость кормов, но благодаря специальному программному обеспечению появилась возможность интегрировать информацию, основанную на питательном составе кормов из анализов, вводить изменяющиеся данные или изменять пищевые потребности в зависимости от производительности животных. Программными модулями СППР откормочного комплекса должны быть модули кормления скота, формирования продуктивности животных, движения поголовья, планирования кормовой базы, итоговых показателей функционирования предприятия. Среди них модуль кормления скота имеет особое значение: он позволяет разработать оптимальные программы кормления животных, состоящие из последовательно сменяемых дифференцированных рационов, соответствующих биологическим закономерностям роста и развития животных и обеспечивающих запрограммированный прирост живой массы молодняка при ограниченном наборе кормов [3].

В условиях динамичного развития информационных технологий и растущей потребности в оперативном принятии решений важное значение к созданию и внедрению СППР приобретает комплексный подход. Для обеспечения высокой эффективности необходимо сочетать математические методы (статистические модели, алгоритмы машинного обучения, оптимизационные процедуры) и современные цифровые инструменты (большие данные, облачные и IoT-технологии). Рекомендации по повышению эффективности управления на основе сочетания математических методов и цифровых технологий в СППР представлены в таблице № 1.

Анализ существующих СППР [6] показывает, что для их разработки широко используются языки программирования Python и R. Python привлекает разработчиков благодаря своей универсальности и мощному набору библиотек, таких как Pandas, NumPy и Scikit-learn, что делает его популярным выбором для создания адаптивных и интеллектуальных СППР. Согласно опросу Stack Overflow 2023 года, Python используют 49,28% разработчиков, что подчёркивает его широкое распространение в сфере разработки СППР [7].

Таблица № 1

Рекомендации по повышению эффективности управления в СППР

№	Рекомендация	Методологическое обоснование	Практическая значимость
1	Применение системного подхода при проектировании	Учитывает междисциплинарный характер управления и взаимосвязь всех звеньев производства, основывается на методах системного анализа	Обеспечивает целостное видение и согласованность действий на всех уровнях управления
2	Поэтапное внедрение с учётом критичных зон	Итеративные методы разработки (agile-подходы) обеспечивают поэтапную интеграцию и адаптацию СППР, с учётом обратной связи	Снижает риски при внедрении и упрощает оценку эффективности (ROI, сокращение затрат, время отклика)
3	Подготовка и мотивация персонала (формирование экспертных групп)	Синтез компетенций специалистов по математике, ИТ и отрасли, с акцентом на актуализацию знаний	Обеспечивает корректное использование моделей и инструментов, ускоряет принятие решений на основе качественного анализа

Продолжение таблицы № 1

4	Непрерывный мониторинг и оценка эффективности (KPI)	Многоуровневая система показателей для оценки вклада СППР, основанная на статистических методах и экономико-математических индикаторах	Обеспечивает обоснованные управленческие решения, упрощает контроль ключевых показателей и своевременное реагирование на негативные тенденции
5	Интеграция современных технологических трендов (IoT, Big Data, облачные решения, AI)	Использование технологий для адаптивных СППР, обеспечивающих самообучение и работу с большими данными в реальном времени	Повышает точность прогнозов и гибкость управления, расширяет возможности обработки разнородных данных (сенсорных, финансовых, логистических)
6	Формирование перспектив дальнейших исследований (квантовые вычисления, блокчейн, расширение функций AI)	Прогнозирование развития СППР с использованием передовых технологий и интеграцией традиционных математических моделей с инновационными IT-решениями	Открывает новые сферы применения СППР (точные прогнозы, децентрализованные поставки, цифровой документооборот) и помогает сохранять конкурентоспособность

В то же время, язык R остаётся востребованным среди статистиков и аналитиков благодаря встроенным статистическим функциям и специализированным пакетам, таким как `ggplot2` и `dplyr`. Он часто применяется в академических исследованиях и областях, где требуется глубокий статистический анализ данных.

Для визуализации данных и построения аналитических отчётов активно используются BI-платформы, такие, как Power BI и QlikView. Интеграция этих платформ в СППР позволяет объединять анализ, прогнозирование и

визуализацию в рамках единой системы, что особенно важно в условиях цифровой трансформации и быстроменяющихся рыночных условий.

Анализ предметной области. Для более детального понимания подходов к оптимизации кормления рассмотрим существующие научные исследования и публикации, посвященные данной тематике. В исследовании А.М.Солодовниковой [8] анализируется влияние оптимизированных кормовых рационов на продуктивность мясного скота. Автор применяет экономико-математические модели для минимизации затрат на корма, сохраняя высокий уровень прироста массы животных. Особое внимание уделяется учету возрастных групп, сезонных изменений кормовой базы и питательной ценности кормов. Это исследование подчеркивает потенциал оптимизации кормления для снижения затрат и повышения продуктивности, оставляя пространство для дальнейших исследований в области экономической эффективности таких решений.

В работе Н.А.Юриной [9] рассматривается влияние фитоглицериновой кормовой добавки на молочную продуктивность лактирующих коров. Исследование фокусируется на использовании добавки, содержащей глицерин и хвою, для улучшения здоровья и продуктивности новотельных коров. Эксперимент показал положительное влияние на молочную продуктивность, содержание молочного жира и белка, а также на снижение потерь живой массы. Одним из ключевых аспектов исследования является внимание к улучшению обмена веществ у высокопродуктивных коров в критический период после отела. В то же время работа не рассматривает альтернативные стратегии оптимизации рационов и экономическую эффективность внедрения данной методики, что ограничивает возможности оценки её практической применимости на уровне фермерских хозяйств.

Цель исследования И.П.Ивановой [10] заключалась в анализе влияния кормового рациона на рост и продуктивность откормочного молодняка

крупного рогатого скота. В ходе работы изучалась динамика изменения живой массы бычков герефордской породы при модификации рациона с использованием программы «Корм Оптима». Результаты показали увеличение прироста живой массы у бычков после оптимизации рациона, что подтверждает эффективность подхода. Одним из достоинств исследования является комплексный подход к анализу рациона, который учитывает влияние различных компонентов на физиологические показатели животных. Однако исследование ограничено коротким периодом откорма и не включает долгосрочные последствия изменений рациона для репродуктивных качеств и здоровья животных. Кроме того, в исследовании не анализируется экономическая целесообразность применения данной методики в масштабах крупных хозяйств.

В работе М.Ш.Бауэр и С.Т.Окутаевой [11] рассматривается роль кормовой базы в развитии животноводства и методы снижения себестоимости производства через оптимизацию рационов кормления. Исследование показывает, что внедрение оптимизированных рационов способствует снижению себестоимости кормления, что в свою очередь влияет на экономические показатели, такие как рентабельность производства мяса. Одним из преимуществ работы является использование математических моделей для расчёта рационов с учётом питательной ценности кормов и экономических факторов. Кроме того, несмотря на положительные результаты, исследование не учитывает долгосрочные последствия изменений в рационе для здоровья животных и их продуктивности, что могло бы дополнительно подтвердить экономическую эффективность предложенных решений.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что существующие исследования в области кормления животных имеют ряд существенных ограничений. В частности:

- отсутствие динамической адаптации рационов к изменяющимся условиям (здоровье животных, сезонность, доступность кормов);
- недостаточное использование данных о физиологических показателях животных для персонализированного кормления;
- ограниченное применение методов машинного обучения и предсказательных алгоритмов;
- недостаток экономической оценки внедрения новых кормовых стратегий.

Эти ограничения создают потребность в разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оптимизации кормления животных.

Создание интеллектуальной системы управления кормлением позволит животноводческим предприятиям внедрять более эффективные стратегии кормления, минимизировать потери и повысить конкурентоспособность на рынке. Разрабатываемая система, учитывающая такие подходы как снижение себестоимости производства, благодаря точному расчету потребностей животных и минимизации потерь кормов; повышение продуктивности животных, за счет персонализированного подхода к кормлению и учету физиологических данных; автоматизация процессов управления кормлением и снижение влияния человеческого фактора позволит решить такие задачи как:

- оптимизация затрат на кормление животных;
- использование персонализированного подхода в кормлении животных;
- внедрение экономической оценки эффективности кормовых стратегий;
- прогнозирование потребностей животных с помощью предсказательных моделей.

На рис.3 представлена укрупненная схема, которая демонстрирует способ формирования информационной базы, используемой для принятия решений

по оптимизации кормления животных. В данной схеме показан процесс сбора и анализа данных о состоянии животных, кормовых рационов и внешней среде, а также использование этих данных для формирования рекомендаций по управлению кормлением. В отличие от традиционных методов, система, предложенная в данной работе, включает интеграцию различных источников данных и использует предсказательные модели для принятия обоснованных решений в реальном времени.

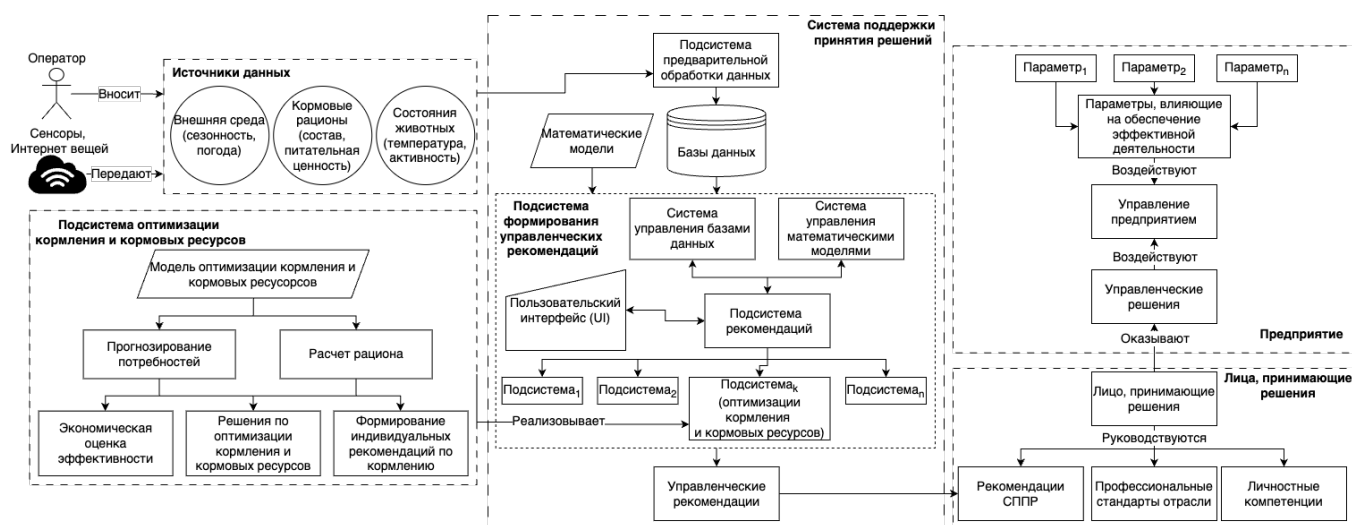


Рис. 3. - Схема формирования информационной базы, используемой для принятия решений по оптимизации кормления животных

Литература

1. Александрова Н. Р., Субаева А. К., Чутчева Ю. В. Цифровизация сельского хозяйства: тенденции и перспективы развития // ЕГИ. 2024. №2 (52). URL: cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-selskogo-hozyaystva-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya (дата обращения: 20.04.2025).
2. Крепышев Д.А., Овчаров А. П., Лабинцева В.Р. Использование экспертных систем для поддержки принятия решений в ведении агробизнеса // Научный журнал КубГАУ. 2020. №164. URL:

- cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-ekspertnyh-sistem-dlya-podderzhki-prinyatiya-resheniy-v-vedenii-agrobiznesa (дата обращения: 21.04.2025).
3. Болодурина И.П., Соловьев С. А., Акимов С. С. Разработка системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 36–44. – DOI: 10.14529/ctcr200204. – EDN BPCPVX.
 4. Сулова С.Р., Коломейченко А. С. Использование информационных технологий в животноводстве // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: Сборник научных статей Всероссийской молодежной научной конференции, в 4-х томах, Курск, 05 июня 2020 года / Отв. ред. Горохов А.А.. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 161-164. – EDN KJLNBW.
 5. Automatic milking - milking robot - Astronaut A4 - Lely. URL: lely.com/solutions/milking/astronaut-a4/ (дата обращения: 25.02.2025).
 6. Гринченков Д.В., Романенко И.В. Анализ подходов к реализации систем поддержки принятия решений на животноводческих предприятиях и их особенности // Научная школа «Зеленое будущее» для молодых ученых, аспирантов и студентов: Тезисы докладов Научной школы, Новочеркасск, 28 мая – 02 2023 года. – Новочеркасск: «НОК», 2023. – С. 206-210. – EDN ROOAJE.
 7. Stack Overflow Developer Survey 2023. URL: survey.stackoverflow.co/2023 (дата обращения: 28.11.2024).
 8. Солодовникова А.М. Оптимизация рационов кормления в мясном скотоводстве // Известия ОГАУ. 2014. №2. URL:
-

- cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-ratsionov-kormleniya-v-myasnom-skotovodstve (дата обращения: 27.02.2025).
9. Юрина Н. А. Оптимизация кормления лактирующих коров // МНИЖ. 2018. №9-2 (75). URL: cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-kormleniya-laktiruyuschih-korov (дата обращения: 27.02.2025).
10. Иванова И.П. Влияние кормового фактора на показатели роста откормочного молодняка крупного рогатого скота // Известия ОГАУ. 2021. №6 (92). URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kormovogo-faktora-na-pokazateli-rosta-otkormochnogo-molodnyaka-krupnogo-rogatogo-skota (дата обращения: 27.02.2025).
11. Бауэр М.Ш., Окутаева С.Т. Оптимизация рациона кормления как фактор повышения эффективности производства мяса КРС. Проблемы агрорынка. 2017;(3):84-89.

References

1. Aleksandrova N. R., Subaeva A. K., Chutcheva Yu. V. EGI. 2024. №2 (52). URL: cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-selskogo-hozyaystva-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya (data obrashheniya: 20.04.2025).
2. Krepy'shev Dmitriy Aleksandrovich, Ovcharov Aleksandr Pavlovich, Labinceva Valentina Romanovna Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2020. №164. URL: cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-ekspertnyh-sistem-dlya-podderzhki-prinyatiya-resheniy-v-vedenii-agrobiznesa (data obrashheniya: 21.04.2025).
3. Bolodurina I.P., Solov'ev S. A., Akimov S. S. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika. 2020. T. 20, № 2. pp. 36-44. DOI: 10.14529/ctcr200204. EDN BPCPVX.

4. Suslova S.R. Za nami budushchee: vzglyad molodyh uchenykh na innovacionnoe razvitie obshchestva: Sbornik nauchnykh statej Vserossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii, v 4-h tomah, Kursk, 05-iyunya 2020 goda. Otv. red. Goroxov A.A. Tom 4. Kursk: Yugo-Zapadny`j gosudarstvenny`j universitet, 2020. pp. 161-164. EDN KJLNBW.
5. Automatic milking - milking robot - Astronaut A4 - Lely. URL: lely.com/solutions/milking/astronaut-a4/ (date assessed 25.02.2025).
6. Grinchenkov D.V., Romanenko I.V. Nauchnaya shkola «Zelenoe budushchee» dlya molodyh uchenykh, aspirantov i studentov: Tezisy dokladov Nauchnoj shkoly, Novocherkassk, 28 maya – 02 2023 goda. Novocherkassk, 28 maya – 02 2023 goda. Novocherkassk: «NOK», 2023. pp. 206-210. EDN ROOAJE.
7. Stack Overflow Developer Survey 2023. URL: survey.stackoverflow.co/2023 (date assessed 28.11.2024).
8. Solodovnikova A.M. Izvestiya OGAU. 2014. №2. URL: cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-ratsionov-kormleniya-v-myasnom-skotovodstve (date assessed 27.02.2025).
9. Yurina N. A. International Research Journal. 2018. №9-2 (75). URL: cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-kormleniya-laktiruyuschih-korov (data obrashheniya: 27.02.2025).
10. Ivanova I.P. Izvestiya OGAU. 2021. №6 (92). URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kormovogo-faktora-na-pokazateli-rosta-otkormochnogo-molodnyaka-krupnogo-rogatogo-skota (data obrashheniya: 27.02.2025).
11. Baue`r M. Sh, Okutaeva S.T. Problemy agrorynka. 2017; (3):84-89.

Дата поступления: 14.04.25

Дата публикации: 25.05.25

