

5.2.3. РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА
(ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 338.43

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_207

EDN: KMCJOS

Бизнес-процессы зернового производства: перспективы развития интеллектуальных систем поддержки принятия решений

Игорь Владимирович Ариничев^{1✉}, Виктор Александрович Сидоров²,
Ирина Владимировна Ариничева³

^{1, 2} Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

³ Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар, Россия

¹ iarinichev@gmail.com✉

Аннотация. Представлены результаты исследований, выполненных с целью разработки алгоритма принятия управленческих решений в зерновом производстве, основанного на использовании интеллектуальных информационных систем, способствующих снижению уровня неопределенности в процессе принятия управленческих решений и модифицирующих цепочки добавленной стоимости. Предложен интегрированный методологический подход, объединяющий инновационные технологии интеллектуальных систем и экспертные оценки для повышения качества принимаемых решений в контексте зернового производства. Рассматриваются разнообразные сценарии применения интеллектуальных информационных систем (ИИС), учитывающие как обширные объемы исторических данных, так и случаи их отсутствия. Особое внимание уделяется эффективности деревьев решений и методов нечетко-множественного анализа для агрегации множества факторов. Авторская модель предлагает комплексное взаимодействие информационных и экспертных оценок, что способствует снижению уровня неопределенности влияющих факторов и повышению точности и оперативности принятия решений. Выделяются три принципиальных сценария снижения неопределенности факторов внешней среды: информационный, экспертно-информационный и экспертный. В первом из них вся неопределенность внешней среды снимается исключительно за счет использования ИИС, без участия человека. Второй сценарий включает в себя частичное использование ИИС для оценки некоторых факторов, в то время как другие из них оцениваются на основе внешней экспертизы либо непосредственно лицом, принимающим управленческое решение. В третьем случае все факторы определяются экспертно, без использования ИИС. Обсуждаются перспективы дальнейшей реализации и развития предложенной методологии в практических аспектах сельскохозяйственных операций, подчеркивается ее важность в обеспечении устойчивого развития зернового производства.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, управленческое решение, интеллектуальная информационная система, экспертные оценки, неопределенность, зерновое производство

Для цитирования: Ариничев И.В., Сидоров В.А., Ариничева И.В. Бизнес-процессы зернового производства: перспективы развития интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 207–220. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_207-220.

5.2.3. REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS
(ECONOMIC SCIENCES)

Original article

Business processes of grain production: prospects of the development of intelligent decision support systems

Igor V. Arinichev^{1✉}, Viktor A. Sidorov², Irina V. Arinicheva³

^{1, 2} Kuban State University, Krasnodar, Russia

³ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

¹ iarinichev@gmail.com✉

Abstract. The authors describe the results of research carried out with the aim of developing an algorithm for management decision making in grain production based on the use of intelligent information systems that help reducing uncertainty in the process of making management decisions and modifying value chains, as well as propose an integrated methodological approach in order to improve the quality of decisions made in the context of grain production. It combined innovative technologies of intelligent systems and expert assessments. Various scenarios for the use of intelligent information systems (IIS) are considered, taking into account both vast amounts of historical data and cases of their absence. Particular attention is paid to the efficiency of decision trees and methods of fuzzy logic analysis for aggregating factor sets. The author's model offers a comprehensive interaction of information and expert assessments, which helps reducing the level of uncertainty of influencing factors and increase the accuracy and efficiency of decision making. Three principal scenarios for reducing the uncertainty of environmental factors are considered: informational, expert-informational and expert. In the first scenario, all the uncer-

tainty of the external environment is removed solely through the use of IIS, without human involvement. The second scenario involves the partial use of IIS to evaluate definite set of factors, while others are evaluated based on external expertise or directly by management decision making person. In the third case, all factors are determined by experts, without the use of IIS. The prospects for further implementation and development of the proposed methodology in practical aspects of agricultural operations are discussed, emphasizing its importance in ensuring the sustainable development of grain production.

Keywords: decision support system, management decision, intelligent information system, expert assessments, uncertainty, grain production

For citation: Arinichev I.V., Sidorov V.A., Arinicheva I.V. Business processes of grain production: prospects of the development of intelligent decision support systems. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):207-220. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_207-220.

Введение

Современная парадигма развития сельского хозяйства сталкивается с широким спектром экономических и экологических проблем. Несмотря на то что химизация сельского хозяйства привела к увеличению объемов зернового производства и обеспечила безопасность продовольственного баланса России в среднесрочной перспективе, она способствовала возникновению во многих аграрных районах серьезных экологических угроз, среди которых снижение уровня плодородия почв, а также нарастающее загрязнение окружающей среды [1, 8]. Современные вызовы, связанные с деградацией экосистем, стремительным распространением вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, ростом риска снижения объема и качества урожая, а также усиливающимся экономическим давлением со стороны различных акторов, включая конкурентов, потребителей и регулирующих органов, диктуют необходимость переориентирования на инновационные методы производства, каркас которых сегодня составляют интеллектуальные технологии [3, 6].

Интеллектуальные технологии открывают перед отраслью зернового производства и всем сельским хозяйством новые горизонты устойчивой трансформации. Выступая технологической базой систем поддержки принятия управленческих решений для сельхозпроизводителей, эти инновации образуют ядро будущего технологического прогресса, способного повысить эффективность и устойчивость всей аграрной сферы [5].

Сложность и неопределенность процесса принятия решений в зерновом производстве обусловлены влиянием на управляемую систему множества взаимозависимых факторов, часть которых является стохастической и подвержена изменчивости во времени. В контексте современных реалий, где объем данных непрерывно растет, интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР) играют ключевую роль в эффективном управлении этой возрастающей сложностью и неопределенностью.

Способность ИСППР агрегировать и анализировать огромные объемы данных, включая исторические показатели, позволяет получить более полное и точное представление о текущем состоянии бизнес-процессов, протекающих внутри системы и предполагаемых сценариях их развития. Использование прогностической аналитики и усовершенствованных систем управления зерновым полем при использовании современных интеллектуальных технологий играет решающую роль в зерновом производстве.

Доступ к результатам анализа больших данных позволяет производителям зерна оценить ожидаемый объем продукции, идентифицировать и классифицировать болезни и вредителей, получать рекомендации о целесообразности проведения защитных мероприятий и внесении удобрений, что в комплексе позволяет обеспечить высокое качество урожая. Эти технологии помогают оптимизировать структуру севооборота, что влияет на эффективность использования ресурсов. Аналитические возможности интеллектуальных систем дают производителям зерна значительное преимущество, позволяя адаптировать производственные стратегии и решения на основе актуальной и точной информации.

Цель представленных исследований заключается в разработке алгоритма принятия управленческих решений в зерновом производстве, основанного на использовании

интеллектуальных информационных систем, способствующих снижению уровня неопределенности в процессе принятия управленческих решений и модифицирующих цепочки добавленной стоимости.

Материалы и методы

Теоретическим базисом исследования послужили работы по использованию цифровых технологий в управлении зерновым производством [11, 13–17].

В качестве методологической основы исследования взяты ключевые концепции социогенеза, законы развития цифровой экономики (Мура, Хуанга, Кека), а также системный подход, представляющий собой концепцию анализа для понимания сложных явлений. Применение системного подхода позволяет рассматривать объект исследования – процесс принятия решения – как систему, где каждый компонент влияет на другие, а также на общий результат.

Кроме того, применялся процессный подход, предполагающий анализ объекта исследования с позиций последовательности мероприятий и работ, направленных на достижение конечного результата – принятие управленческого решения. Данный подход помогает выявить этапы и действия в объекте исследования, что особенно важно при изучении динамичных и изменчивых сред.

Результаты и их обсуждение

Проведенный анализ опубликованной научной литературы позволил выявить общие этапы процесса принятия управленческих решений в зерновом производстве, являющимся одной из важнейших отраслей отечественного сельского хозяйства. Независимо от подгруппы зерновых (хлебные или зернобобовые), в которой субъект осуществляет деятельность, данный процесс всегда предусматривает следующие шаги (рис. 1).

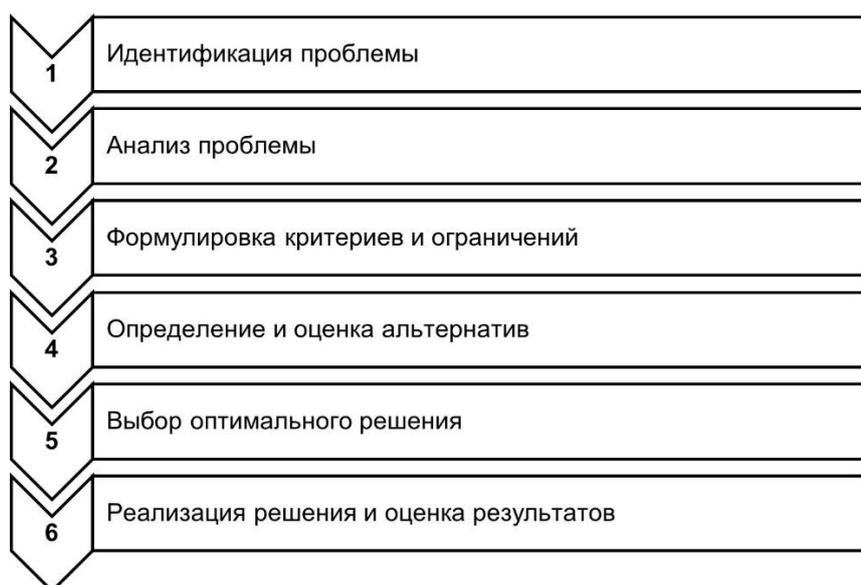


Рис. 1. Базовые этапы процесса принятия решений в зерновом производстве

Источник: составлено авторами на основе данных [7, 9, 12].

В отдельных ситуациях исследователи дополняют представленную схему новыми компонентами или декомпозируют отдельные этапы. Например, С.А. Хлынов этапы и процедуры процесса принятия решения объединяет в последовательную цепочку блоков, при внимательном рассмотрении которых обнаруживаются все те же (рис. 1) структурные элементы [12]. В.А. Созинов придерживается мнения, что первым необходимым шагом является выявление и анализ проблемной ситуации [9]. П. Кит и Ф. Янг отстаивают точку зрения, что начало процесса принятия решения должно базироваться на постановке целей и задач, а также дифференциации факторов влияния (природные и антропогенные) [7].

Несмотря на некоторые отличия в структуре каркас процесса принятия решений остается универсальным для различных ситуаций зернового производства, обязательными элементами которого являются анализ и оценка информации, установление критериев и ограничений, исследование альтернативных решений, выбор оптимального варианта и его последующая реализация.

Главный барьер процесса принятия решений в производстве зерна – неопределенность результата, обусловленная рядом экзогенных и эндогенных факторов, которая в контексте предложенной схемы более всего проявляется на этапе оценивания альтернатив. Действительно, воздействие недетерминированной составляющей внешней среды, наличие которой в особой степени свойственно зерновому производству, может существенно сместить результаты оценивания альтернативных стратегий. Ограниченная точность инструментов оценивания и сжатые сроки, в которые необходимо сделать выбор, оказывают дополнительное давление на лиц, принимающих решения (ЛПР). Важные решения, отложенные на потом, влекут нежелательные последствия и упущенные возможности.

Таким образом, ключевой аспект рассматриваемого процесса заключается не в количестве блоков для формализации всей схемы и не в выборе первоначального этапа. Основополагающее значение имеет то, каким образом в текущих условиях можно устранить неоднозначность выбора альтернативы. По этой причине классический подход, с одной стороны, служит универсальным и стандартизированным инструментом для управленческих решений, структура которого может стать основой для систематизации процесса, с другой – отсутствие учета неопределенности факторов внешней среды делает использование данного подхода невозможным в реальном производственном цикле.

На наш взгляд, решение данной проблемы применительно к процессу производства зерна лежит в плоскости использования интеллектуальных технологий, в качестве того цифрового базиса, на котором должна выстраиваться конструкция будущей интеллектуальной СППР (ИСППР) зернового производства.

Основные преимущества использования ИСППР приведены на рисунке 2.

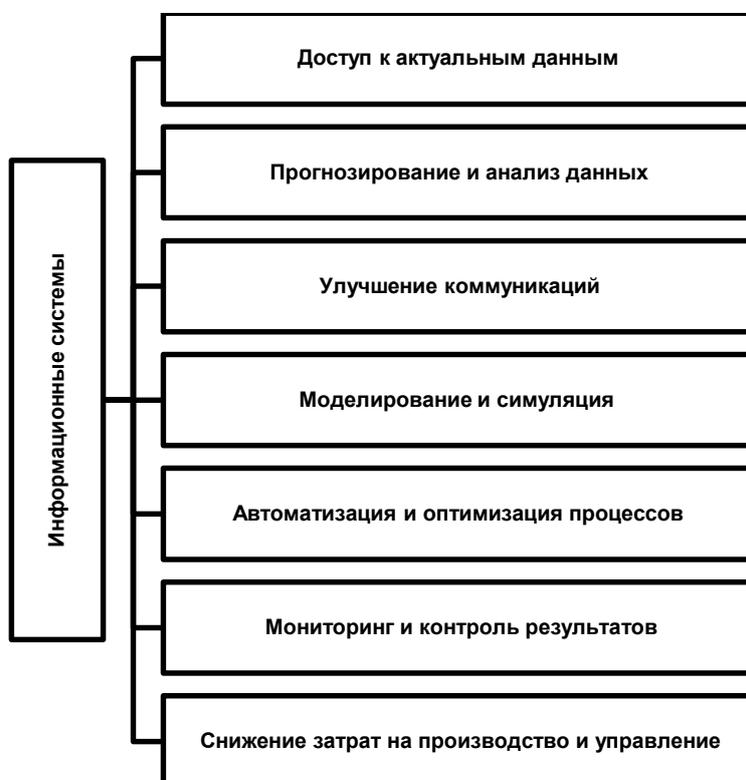


Рис. 2. Преимущества использования интеллектуальных информационных систем в процессе принятия управленческих решений в производстве зерна

Источник: составлено авторами.

Во-первых, они позволяют анализировать большие объемы данных и учитывать сложные неопределенные факторы. Во-вторых, такие технологии могут предоставлять сельхозпроизводителю рекомендации и аналитику, основанную на точных данных и прогнозах, способствуя принятию более обоснованных решений. Следует отметить и такое преимущество, как наличие коммуникативной функции – способности системы обеспечивать эффективный обмен информацией между различными участниками бизнес-процесса производства зерна, что играет решающую роль в их согласованности, взаимодействии и координации действий.

Автоматизация рутинных задач и процессов освобождает управленцев от монотонной работы, позволяя им сконцентрироваться на стратегических и творческих аспектах принятия решений. При этом исключается влияние человеческого фактора при выполнении рутинных операций, что также способствует оперативному и точному принятию решений. Адаптивная функция, в свою очередь, обогащает опыт пользователя и предоставляет ему индивидуализированные рекомендации и релевантные решения на основе актуальных данных.

Функция мониторинга и контроля результатов ранее выполненных действий выявляет отклонения от плана и при необходимости корректирует его для достижения поставленных целей. Это обеспечивает непрерывность мониторинга и управления процессами, что особенно важно в сферах с высокой динамикой и оперативностью. Выступая своеобразным фильтром неопределенности и вариабельности, информационные системы снижают негативные последствия непредвиденных событий, создавая условия для устойчивого функционирования процесса зернового производства.

Что касается возможностей использования ИИС в СППР (ИСППР), то можно выделить три принципиальных случая (рис. 3).

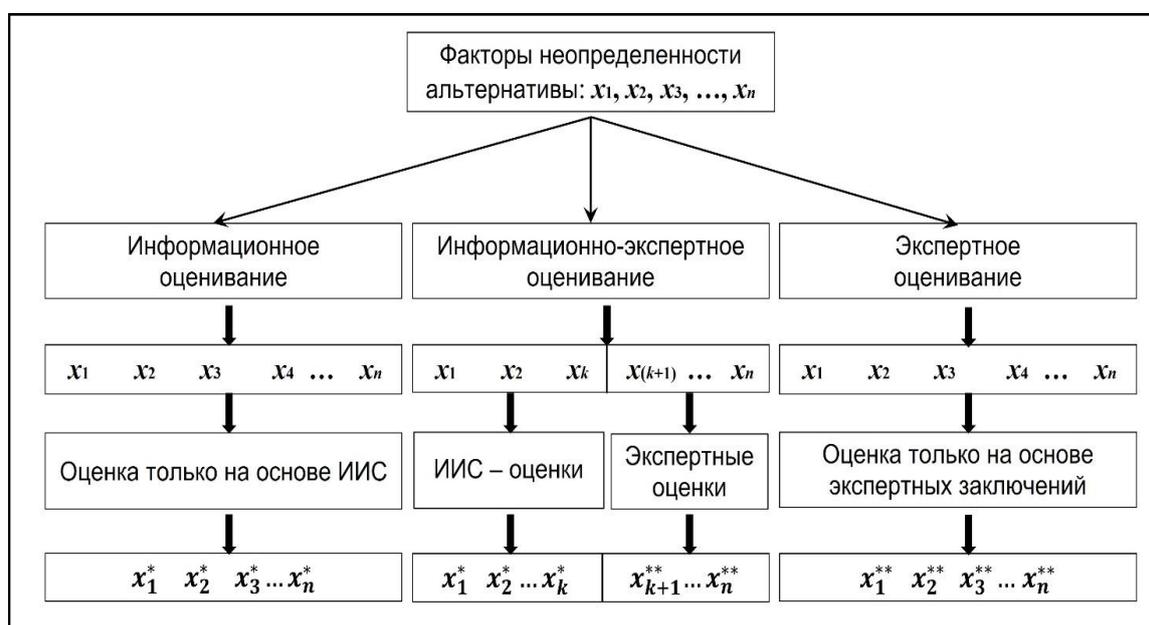


Рис. 3. Подходы к принятию решений в зерновом производстве в условиях неопределенности внешней среды

Источник: составлено авторами.

В первом случае вся неопределенность внешней среды снимается исключительно за счет использования ИИС без участия человека. При этом значительно уменьшается вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, таких как усталость, эмоции или недостаток внимания. Мгновенная реакция на изменения условий функционирования процессов за счет перестраивания решений в соответствии с новыми данными,

повышает надежность и качество принимаемых решений. И все эти процессы реализуются непрерывно, в режиме 24/7, без потери эффективности.

Второй сценарий предполагает использование ИИС для оценки части факторов (экстраполяция в прогнозировании урожайности, обнаружение заболеваний культур на ранних стадиях, распознавание ареала распространения вредителей), в то время как другие из них оцениваются на основе экспертных оценок либо непосредственно лицом, принимающим управленческое решение (ЛПР). Данный подход сочетает в себе автоматизированные данные с опытом и знаниями специалистов, что может привести к более достоверной и всесторонней оценке. Важно отметить, что такой метод учета экспертных мнений дополняет возможности ИИС, внося в процесс аспекты, которые могут быть трудно охвачены исключительно технологическими алгоритмами.

Существует широкий спектр ситуаций, в которых применимость информационных систем является менее предпочтительной и даже излишней. Например, если решения в основном зависят от predetermined параметров или ограничиваются небольшим объемом данных, то более простые аналитические методы могут показать хорошие результаты. Это, конечно, не отменяет тот факт, что даже в условиях ограниченных данных и простых методов анализа необходимо стремиться к непрерывному совершенствованию и оптимизации процессов принятия решений. Постоянное обновление и адаптация к изменениям в окружающей среде содействуют созданию более эффективных и устойчивых стратегий.

В третьем случае все факторы определяются экспертно, без использования ИИС. В отличие от других подходов данный метод обеспечивает решения на основе профессиональных знаний специалистов, обладающих опытом в соответствующей области, и может быть применен в ситуациях, когда доступных данных недостаточно для автоматизированной оценки или когда участники принятия решений полагают, что их собственные знания и опыт имеют большее значение. Экспертное оценивание позволяет учесть контекстные детали и специфику ситуации, однако может сопровождаться высокой степенью субъективности и возможными ограничениями, связанными с личными предпочтениями и уровнем экспертизы. Кроме того, зависимость выбора альтернативы от чьего-либо мнения ограничивает масштабируемость и переносимость решений на другие ситуации.

В целом выбор между разными подходами к использованию ИИС и экспертных оценок зависит от конкретной задачи, доступных данных, уровня доверия к экспертам и требований к точности принимаемых решений. Комбинация различных методов и подходов может оказаться самой эффективной стратегией для сбалансированного и адаптивного процесса принятия решений в управлении бизнес-процессами производства зерна. При грамотной организации процессов сбора, разметки, хранения, обмена данными интеграция ИИС повышает эффективность принимаемых решений за счет улучшения качества анализа и прогнозов. Отсутствие методологии работы с данными определяется сегодня экспертами в качестве одной из основных причин, препятствующих полномасштабному распространению интеллектуальных технологий [10].

В качестве примера успешной реализации интеллектуальных систем в управлении бизнес-процессами производства зерна, направленных на уменьшение степени неопределенности в процессе принятия решений, рассмотрим задачу диагностики болезней пшеницы – экономически важной и ценной продовольственной культуры. Одним из наиболее значимых биотических факторов, влияющих на урожайность пшеницы, являются возбудители заболеваний, поскольку потери урожая могут составить от 30 до 100% в зависимости от погодных условий, типа патогена, сезона и устойчивости высеваемых сортов.

В патокмлексе пшеницы Краснодарского края среди листовых болезней преобладают ржавчины – желтая (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* West.), бурая (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici* Erikss.), а также желтая пятнистость (*Pyrenophora tritici-repentis*) [4].

Точная и своевременная идентификация возбудителей перечисленных болезней играет ключевую роль в принятии решений о необходимых мерах по борьбе с ними, включая применение средств защиты растений. В то же время в процессе классификации различных заболеваний (различных видов ржавчин и пятнистостей) лица, осуществляющие диагностику, нередко сталкиваются с неопределенностью, обусловленной схожестью симптомов в проявлениях заболеваний (например, бурая и желтая ржавчины), в особенной степени на ранней стадии заражения.

Для обоснования возможности использования интеллектуальных методов при классификации грибных болезней пшеницы на опытных полях ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ВНИИЗР) были проведены полномасштабные исследования в период с 2019 по 2022 г., в рамках которых собраны образцы листьев пшеницы, пораженных различными болезнями. В общей сложности в подготовке данных было использовано 35 сортов озимой пшеницы, возделываемых на юге России и отличающихся по степени устойчивости к исследуемым патогенам. В результате общий объем обучающей выборки составил 5169 изображений, в том числе бурая ржавчина – 227, желтая ржавчина – 1283, желтая пятнистость – 3659.

Для решения задачи классификации с использованием интеллектуальных методов было выбрано несколько успешных архитектур нейронных сетей, применяемых в области компьютерного зрения и анализа изображений:

- GoogleNet;
- ResNet-18;
- SqueezeNet-1.0;
- DenseNet-121.

Значения метрик качества классификации [1], меняющиеся в пределах от 0 до 100 (0 – очень плохо, 100 – идеальная классификация), полученных на тестовой (не участвовавшей в обучении) выборке объемом 518 изображений, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение качества моделей на тестовых данных

Показатель \ Модель	GoogleNet	ResNet-18	SqueezeNet-1.0	DenseNet-121
Доля правильных ответов (<i>accuracy</i>), %	97,8	98,2	98,6	99,4
Точность (<i>precision</i>), %	91,2	99,0	97,4	99,6
Полнота (<i>recall</i>), %	97,0	94,3	96,5	97,0
Среднегармоническое точности и полноты (F_1 -мера)	93,7	96,5	96,9	98,2
Степень качества информации для принятия решений	94,5	97	97,4	98,6

Источник: составлено авторами на основе данных [2].

Исходя из приведенных в таблице 1 результатов можно сделать вывод, что все перечисленные модели успешно справились с поставленной задачей классификации болезней пшеницы, демонстрируя высокую степень точности и надежности предсказаний. Лучший результат показала модель DenseNet-121, которая, обладая сравнительно небольшим для сверточной нейросети числом параметров (~6,9 млн), ошиблась в классификации болезней пшеницы лишь в 0,6% случаев. Учитывая неравномерное распределение классов в данных, были также рассчитаны дополнительные метрики – точность, полнота и их гармоническое среднее (F_1 -мера). Для лучшей модели эти значения превысили 97%, что свидетельствует о ее высокой обобщающей и предсказательной способности.

Тестовые испытания инструментария диагностики состояния посевов зерновых позволяют заключить, что использование технологии искусственного интеллекта в этом бизнес-процессе обеспечивает высокую точность и своевременность получения данных для принятия управленческого решения не только относительно предотвращения и контроля за распространением болезней, за счет снижения уровня неопределенности, связанного с проблемой классификации патогена, но и применения агротехники возделывания зерновых в целом.

На Кубани зерновые культуры занимают 1,8 млн га, из которых 1,6 млн га засевают озимой пшеницей. Валовой сбор зерна в 2024 г. составил 11,9 млн т (для сравнения в 2023 г. – 11,3 млн т, 2022 г. – 12,4 млн т) при средней урожайности 62,3 ц/га, поэтому несвоевременность получения информации о состоянии посевов на начальном этапе производства оборачивается в конечном счете большими финансовыми потерями, обусловленными существенным перерасходом ресурсов, увеличением времени поиска оптимального решения, нарушением ритмичности производственного процесса, снижением скорости всей системы бизнес-операций.

Заключительный шаг оценки альтернативы – агрегация очищенных от неопределенности факторов с целью получения единого показателя или оценки, которая будет служить основой для сравнительного анализа различных сценариев выбора. Этот этап является ключевым, поскольку он позволяет сделать окончательное сопоставление между альтернативами на основе ранее обработанных и оцененных данных.

Агрегация факторов может выполняться разными методами в зависимости от поставленных целей и характеристик задачи.

Одним из распространенных подходов является взвешенная сумма, где каждый фактор умножается на его весовой коэффициент (чаще всего определяемый экспертно), отражающий его относительную важность, после чего полученные значения суммируются. Таким образом, показатели с большим влиянием на результат будут иметь больший вес в окончательной оценке.

Другой метод – разработка специальных математических моделей сверток, способных учесть не только важность факторов, но их взаимосвязи и влияние друг на друга. Этот подход может быть особенно полезен в сложных задачах, где решения могут оказывать влияние на несколько различных аспектов.

С практической точки зрения выбор подходящего инструмента (модель или экспертная оценка) зависит от наличия исторических данных, содержащих в себе информацию о прошлых событиях, трендах, результатах принятых решений и их последствий. Наличие объемных репрезентативных выборок открывает разработчикам ИСППР весь арсенал интеллектуальных инструментов, начиная от линейной регрессии и заканчивая нейронными сетями. В таких ситуациях знания, накопленные людьми о проблемной ситуации, заменяются знаниями, извлекаемыми вычислительными алгоритмами из наборов данных. Остается лишь выбрать подходящую метрику качества алгоритма и выполнить перебор обученных моделей с последующим их сравнением на тестовых наборах.

Особого внимания в контексте зернового производства заслуживают интеллектуальные алгоритмы, имеющие иерархическую древовидную структуру, которая состоит из корневого узла, ветвей, внутренних узлов и конечных листовых вершин, например алгоритм «дерево принятия решений», преимущества которого перед другими моделями можно выделить на основе двух ключевых аспектов. Во-первых, они способны учитывать как количественные, так и качественные показатели, причем влияние последних сложно переоценить при производстве зерна. К ним, например, относятся типы почв, виды агротехнических мероприятий, болезни и вредители, типы устойчивости сортов к патогенам и др. Во-вторых, деревья решений обладают высокой степенью интерпретируемости, поэтому их результаты легко объяснить экспертам и заинтересованным сторонам. Возможность объяснить, как и почему была выделена определенная альтернатива на

основе деревьев решений, делает процесс прозрачным и понятным для всех участников. Если накопленные исторические данные отсутствуют или их недостаточно для построения математических моделей, но имеются знания и опыт специалистов, перспективным методом агрегирования признаков выступает нечетко-множественный анализ, представляющий собой мощный инструмент извлечения и учета знаний экспертов.

Главным преимуществом нечетко-множественного анализа является его способность работать с неполной и нечеткой информацией, что характерно для многих сельскохозяйственных операций. Например, существенное влияние на урожайность зерновых культур оказывают климатические условия, состояние и качество земель, запасы влаги в почве, физиология растений, смещение границ природно-климатических зон и пр. В этих условиях экспертные знания, формализованные в виде полной и непротиворечивой системы логических правил, устанавливающих взаимосвязь между входными переменными и результирующим показателем, оказываются малоэффективными и требуют дополнения в поиске объективных входных параметров.

С учетом перечисленных требований и замечаний представляется возможным структурировать алгоритм принятия управленческих решений на основе использования интеллектуальных информационных систем, нацеленных на оптимизацию бизнес-процессов зернового производства в целом (рис. 4). Данный алгоритм может быть визуализирован в форме логической схемы, которая представляет собой последовательность шагов и взаимодействий между ними.

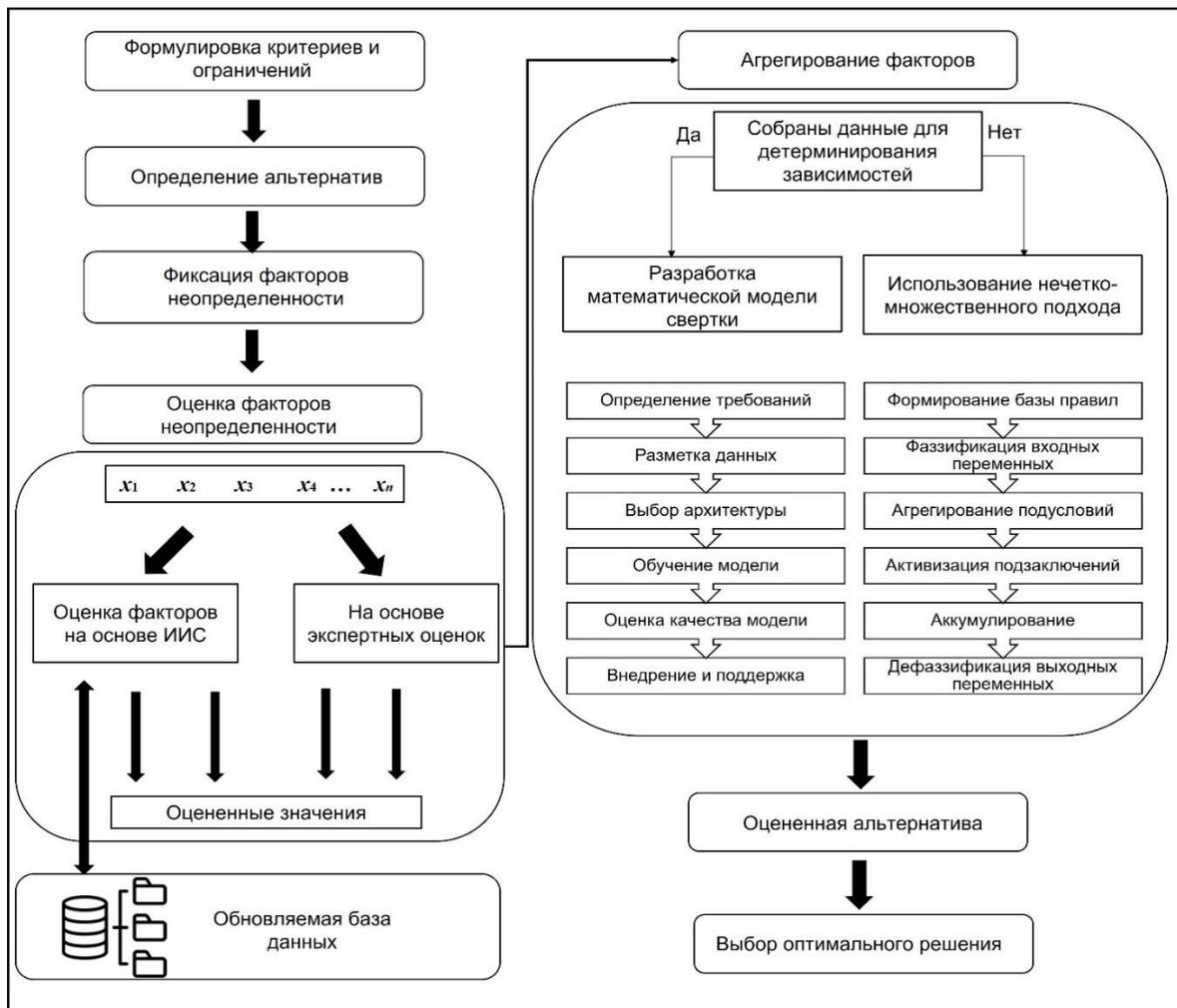


Рис. 4. Алгоритм принятия управленческих решений при оптимизации бизнес-процессов зернового производства на основе интеллектуальных ИС

Источник: составлено авторами.

Полученные данные позволяют констатировать, что интеллектуальные системы поддержки принятия решений, получившие в последние годы широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства, оказываются полезными и в производстве зерна. Основное их преимущество заключается в слиянии систем управления базами данных и управленческих информационных систем, в результате чего растет качество принимаемых решений в бизнес-процессов производства зерна (определение последовательности циклов выполняемых работ, влияния химобработок на качество готовой продукции; прогнозирование урожайности; совершенствование логистики и других работ, связанных с технико-технологическим обслуживанием поля). Можно выделить два главных прямых экономических эффекта, которые целесообразно учесть при расчете общей экономической эффективности от использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в зернопроизводящих предприятиях и хозяйствах: повышение урожайности и сокращение прямых материальных затрат.

Расчет проектной эффективности проводился для пяти экономических агентов с основным видом деятельности – выращивание зерновых культур в различных экономических зонах Краснодарского края: Черноморская, Восточная, Центральная, Северная, Краснодарская агломерация. Исходные данные для расчета эффективности представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные для расчета экономической эффективности применения интеллектуальной системы поддержки принятия решений в хозяйствах Краснодарского края, 2024 г.

Показатели	ООО Агро-фирма «Победа»	АО «Знамя октября»	АО «Колос»	ООО «Урожай XXI век»	АО «Правобережный»
Посевная площадь зерновых культур, га	4 634	7 663	3714,5	5 152	932,6
Валовой сбор, ц	299 619	385 609	196 459	275 271	46 701
Урожайность, ц/га	64,7	50,3	52,9	53,4	50,1
Производственная себестоимость, тыс. руб.	234 927	308 719	201 536	273 988	44 086
Производственная себестоимость 1 ц, руб.	784,1	800,6	1025,8	995,3	944,0
Реализовано продукции, ц	344 749	94 267	243 243	311 734	26 315
Полная себестоимость продаж, тыс. руб.	241 808	74 052	218 640	234 314	37 488
Себестоимость продаж 1 ц, руб.	701,4	785,6	898,8	751,6	1424,6
Выручка от продаж, тыс. руб.	449 836	104 876	313 280	397 890	40 759
Прибыль от продаж, тыс. руб.	208 028	30 824	94 640	163 576	3 271
Цена реализации 1 ц, руб.	1304,8	1112,5	1287,9	1276,3	1549,9
Прибыль от реализации 1 ц, руб.	603,4	326,9	389,1	524,7	125,9
Валовая рентабельность, %	86,0	41,6	43,3	69,8	8,8

Таблица 3. Расчет экономической эффективности применения интеллектуальной системы поддержки принятия решений в хозяйствах Краснодарского края, 2024 г.

Экономическая зона	Восточная зона		Северная зона		Краснодарская агломерация		Центральная зона		Черноморская зона			
	ООО Агрофирма «Победа»	Контроль	Опыт	АО «Знамя Октября»	Контроль	Опыт	АО «Колос»	Контроль	Опыт	АО «Правобережный»	Контроль	Опыт
Показатель												
Посевная площадь зерновых культур, га	4634,0	4634,0	7663,0	7663,0	3714,5	3714,5	5152,0	5152,0	932,6	932,6	932,6	932,6
Урожайность, ц/га	64,7	66,0	50,3	51,6	52,9	54,0	53,4	54,5	50,1	51,1	50,1	51,1
Валовой сбор, ц	299619,0	305844,0	385609,0	395410,8	196459,0	200583,0	275271,0	280784,0	46701,0	47655,9	46701,0	47655,9
Производственная себестоимость, тыс. руб.	234927,0	228442,0	308719,0	302080,0	201536,0	196996,0	273988,0	260938,0	44087,0	43824,0	44087,0	43824,0
в т.ч. затраты на цифровые технологии, тыс. руб.	0,0	1044,0	0,0	1250,0	0,0	1034,0	0,0	1034,0	0,0	567,0	0,0	567,0
Производственная себестоимость 1 ц, руб.	784,1	762,4	800,6	783,3	1025,8	982,1	995,3	929,3	944,0	919,6	944,0	919,6
Реализовано всего, ц	344749,0	350974,0	94267,0	99167,9	243243,0	247367,0	311734,0	317247,0	26315,0	27078,9	26315,0	27078,9
Полная себестоимость продаж, тыс. руб.	241808,0	236972,0	74052,0	72422,9	218640,0	209325,9	234314,0	225175,8	37488,0	36738,2	37488,0	36738,2
Выручка от реализации, тыс. руб.	449836,0	457957,9	104876,0	110328,3	313280,0	318584,0	397890,0	404902,3	40759,0	41969,6	40759,0	41969,6
Прибыль от продаж, тыс. руб.	208028,0	220985,9	30824,0	37905,4	94640,0	109258,0	163576,0	179726,6	3271,0	5231,3	3271,0	5231,3
в т.ч. эффект от использования цифровых технологий	0,0	12957,9	0,0	7081,4	0,0	14618,0	0,0	16150,6	0,0	1960,3	0,0	1960,3
Полная себестоимость продаж 1 ц, руб.	701,4	675,2	785,6	730,3	898,8	846,2	751,6	709,8	1424,6	1356,7	1424,6	1356,7
Цена реализации 1 ц, руб.	1304,8	1304,8	1112,5	1112,5	1287,9	1287,9	1276,3	1276,3	1549,9	1549,9	1549,9	1549,9
Прибыль 1 ц, руб.	603,4	629,6	326,9	382,2	389,1	441,7	524,7	566,5	125,3	193,2	125,3	193,2
Валовая рентабельность, %	86,0	93,3	41,6	52,3	43,3	52,2	69,8	79,8	8,8	14,2	8,8	14,2
в т.ч. за счет внедрения цифровых технологий	0,0	7,0	0,0	10,7	0,0	8,9	0,0	10,0	0,0	5,4	0,0	5,4

Как показал анализ производственных затрат, внедрение и использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) способствуют снижению общей себестоимости от 0,5 до 4,7% (в зависимости от зоны). Основная статья затрат, где внедрение ИСППР дает значительную экономию, – средства защиты растений. Использование ИИС позволяет существенно сократить объем применяемой агрохимии за счет точечного воздействия исключительно на участки с выявленными очагами заболеваний или вредителей. Благодаря своевременным данным о степени заражения, дозировка препаратов оптимизируется, что снижает их расход и предотвращает избыточное использование до 30%.

Кроме того, интеграция ИСППР в бизнес-процессы позволяет оптимизировать маршруты обработки полей за счет сокращения числа проходов техники, минимизируя количество операций, требующих использования сельскохозяйственного оборудования. В результате затраты на нефтепродукты снижаются на 9,7–15,8%, что также способствует общей экономии и снижению себестоимости производства.

Анализ данных, представленных в таблице 3, демонстрирует положительное влияние внедрения цифровых технологий управления на ключевые экономические показатели зернопроизводящих предприятий. Так, благодаря использованию ИСППР урожайность зерновых культур на опытных полях оказалась выше на 1,3–2,1 ц/га по сравнению с контрольными участками в зависимости от предприятия. Это стало возможным за счет своевременного выявления очагов заболеваний, повышения точности применения средств защиты растений и оптимизации агротехнических операций.

При этом расходы на внедрение цифровых технологий составляют небольшую долю в структуре затрат, однако приводят к значительному экономическому эффекту. Например, затраты на цифровизацию в ООО «Урожай XXI век» составили 1,03 млн руб. Снижение полной себестоимости в этом хозяйстве позволило сэкономить более 9 млн руб., что обеспечило дополнительную прибыль в 16,1 млн руб.

Таким образом, результаты анализа показывают, что независимо от зональной специфики внедрение цифровых технологий управления не только способствует снижению себестоимости и повышению рентабельности, но и обеспечивает долгосрочные преимущества за счет более устойчивого и эффективного использования ресурсов, доказывая необходимость дальнейшего распространения цифровых решений в аграрной сфере как важного направления повышения общей эффективности и конкурентоспособности.

Заключение

Авторская модель алгоритмизации принятия решений в зерновом производстве представляет собой тщательно спроектированный интегрированный подход, основанный на сочетании интеллектуальных систем и экспертных оценок, которые применяются в контексте бизнес-процессов отраслевого производства. Путем объединения трех возможных типов оценок – информационных, информационно-экспертных и экспертных – данная методология обеспечивает общее снижение степени неопределенности, связанной с многообразием факторов, влияющих на зерновое производство, что в свою очередь способствует более точному и оперативному процессу принятия решений.

В рамках предлагаемого подхода для окончательной оценки альтернатив предлагается применять интеллектуальные системы поддержки принятия решений, использующие методы искусственного интеллекта, такие как математические модели сверток или варианты нечетко-множественного вывода, которые выбираются в зависимости от конкретных условий. Это дополнительно обогащает методологию управления бизнес-процессами производства зерна, позволяя лицам, принимающим решения, использо-

вать инструментарий, соответствующий контексту задачи. При этом появляется возможность формирования дополнительной массы добавленной стоимости (за счет оптимизации потребляемых ресурсов, широкого использования технологий машинного обучения, сокращения дефицита квалифицированных кадров) и, как следствие, повышается устойчивость зернового производства в целом.

Как показали результаты проектного тестирования ИСППР, ее прямая эффективность обеспечивает сокращение затрат времени на принятие управленческого решения по таким номенклатурным статьям, как: сбор, обработка и анализ информации – до 17–20%, подготовка полей к обработке – до 30%, расход топлива – на 15%, удобрения и средства защиты растений – до 30% от общего фонда рабочего времени.

Список источников

1. Алимджанов Н.Н. Экологические аспекты химизации в сельском хозяйстве // Экономика и социум. 2020. № 6(73). С. 345–350.
2. Ариничев И.В. Использование цифровых интеллектуальных технологий для диагностики заболеваний хлебных злаков Кубани // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 70–73. DOI: 10.28983/asj.y2022i5pp70-73.
3. Бадмаева М.Х. К вопросу об особенностях и проблемах применения систем искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Вестник Бурятского государственного университета. Философия. 2022. № 3. С. 75–82. DOI: 10.18101/1994-0866-2022-3-75-82.
4. Волкова Г.В., Ариничева И.В., Ариничев И.В. и др. Идентификация ржавчины пшеницы с помощью фитопатологического исследования и технологий компьютерного зрения // Вестник УлГАУ. 2021. № 2(54). С. 109–120. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-109-120.
5. Загазежева О.З., Край К.Ф. Проблемы и перспективы внедрения роботизированных и интеллектуальных технологий в растениеводство // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6(104). С. 95–104. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104.
6. Иванов А.А., Рожкова Л. Искусственный интеллект как основа инновационных преобразований в технике, экономике, бизнесе // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 3(111). С. 112–115.
7. Кит П., Янг Ф. Управленческая экономика. Инструментарий руководителя. 5-е изд.; пер. с англ. Санкт-Петербург: Питер, 2008. 624 с.
8. Мишина З.А., Сурова Т.С. К вопросу о причинах снижения плодородия почвы земель сельскохозяйственного назначения // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2020. Т. 9, № 3(32). С. 349–353. DOI: 10.26140/anie-2020-0903-0083.
9. Созинов В.А. Управленческие решения: учебное пособие. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2003. 200 с.
10. Тихонова Ю. Цифровизация АПК уперлась в качество данных [Электронный ресурс] // ComNews. Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ. URL: <https://www.comnews.ru/content/226915/2023-06-21/2023-w25/cifrovizaciya-apk-uperlas-kachestvo-dannykh> (дата обращения: 20.07.2023).
11. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Креймер А.С. Точное земледелие: состояние и перспективы. Краснодар: КубГАУ, 2018. 27 с.
12. Хлынов С.А. Алгоритм принятия управленческих решений в посреднической организации // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2014. № 3. С. 97–100.
13. Янишевская Н.А., Болодурина И.П. Применение технологий компьютерного зрения для разработки модели распознавания поражения культурных растений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. Т. 21, № 3. С. 5–13. DOI: 10.14529/ctcr210301.
14. Arinichev I.V., Polyanskikh S.V., Volkova G.V. et al. Rice fungal diseases recognition using modern computer techniques // International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems. 2021. Vol. 21(1). Pp. 1–11. DOI: 10.5391/IJFIS.2021.21.1.1.
15. Brahim M., Arsenovic M., Laraba S. Deep Learning for Plant Diseases: Detection and Saliency Map Visualisation. In: Human-Computer Interaction Series. 2018. Pp. 93–117. DOI: 10.1007/978-3-319-90403-0_6.
16. Fuentes A., Yoon S., Kim S. et al. A Robust Deep-Learning-Based Detector for Real-Time Tomato Plant Diseases and Pests Recognition // Sensors. 2022. Vol. 17(9). DOI: 10.3390/s17092022.
17. Zhang S., Huang W., Zhang C. Three-channel convolutional neural networks for vegetable leaf disease recognition // Cognitive Systems Research. 2018. Vol. 53. Pp. 31–41. DOI: 10.1016/j.cogsys.2018.04.

References

1. Alimdzhyanov N.N. Ecological Aspects of Chemistry in Agriculture. *Economy and Society*. 2020;6(73):345-350. DOI: 10.28983/asj.y2022i5pp70-73. (In Russ.).
2. Arinichev I.V. Using digital intelligent technologies for the diagnosis of cereals diseases in the Kuban. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;5:70-73. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp70-73>. (In Russ.).
3. Badmaeva M.Kh. More on the features and problems of applying Artificial Intelligence Systems in agriculture. *Bulletin of Buryat State University. Philosophy*. 2022;3:75-82. DOI: 10.18101/1994-0866-2022-3-75-82. (In Russ.).
4. Volkova G.V., Arinicheva I.V., Arinichev I.V. et al. Wheat rust identification using phytopathological research and Machine Vision Technologies. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;2(54):109-120. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-109-120. (In Russ.).
5. Zagazezheva O.Z., Krai K.F. Problems and prospects of introducing robotic and intelligent technologies in crop production. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021;6(104):95-104. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104. (In Russ.).
6. Ivanov A.A., Rozhkova L. Artificial intelligence as the basis of innovative transformations in technology, economics, business. *Izvestia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2018;3(111):112-115. (In Russ.).
7. Keat P.G., Young Ph.K.Y. Managerial economics: economic tools for today's decision makers. 5th edition; translated from English. St. Petersburg: Piter Publishers; 2008. 624 p. (In Russ.).
8. Mishina Z.A., Surova T.S. To the question of the reasons of reducing soil fertility of lands intended for agriculture. *Azimut of Scientific Research: Economics and Administration*. 2020;3(32):349-353. (In Russ.).
9. Sozinov V.A. Management decisions: study guide. Vladivostok: Vladivostok State University of Economics and Service Publishers; 2003. 200 p. (In Russ.).
10. Tikhonova Yu. Digitalization of the Agro-Industrial Complex comes down to data quality. ComNews. News on digital transformation, telecommunications, broadcasting and IT. URL: <https://www.comnews.ru/content/226915/2023-06-21/2023-w25/cifrovizaciya-apk-uperlas-kachestvo-dannykh>. (In Russ.).
11. Truflyak E.V., Kurchenko N.Yu., Kreimer A.S. Precision Agriculture: current state and development trends. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Publishers; 2018. 27 p. (In Russ.).
12. Khlynov S.A. Algorithm of acceptance administrative decisions in the intermediary organization. *Economics, Statistics and Informatics*. 2014;3:97-100. (In Russ.).
13. Yanishevskaya N.A., Bolodurina I.P. Application of computer vision technologies for the development of a model for the recognition of lesions of cultivated plants. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2021;21(3):5-13. DOI: 10.14529/ctcr210301. (In Russ.).
14. Arinichev I.V., Polyanskikh S.V., Volkova G.V. et al. Rice fungal diseases recognition using modern computer techniques. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*. 2021;21(1)1-11. DOI: 10.5391/IJFIS.2021.21.1.1.
15. Brahimi M., Arsenovic M., Laraba S. Deep Learning for Plant Diseases: Detection and Saliency Map Visualisation. In: Human-Computer Interaction Series;2018:93-117. DOI: 10.1007/978-3-319-90403-0_6.
16. Fuentes A., Yoon S., Kim S. et al. A Robust Deep-Learning-Based Detector for Real-Time Tomato Plant Diseases and Pests Recognition. *Sensors*. 2022;17(9). DOI: 10.3390/s17092022.
17. Zhang S., Huang W., Zhang C. Three-channel convolutional neural networks for vegetable leaf disease recognition. *Cognitive Systems Research*. 2018;53:31-41. DOI: 10.1016/j.cogsys.2018.04.

Сведения об авторах

И.В. Ариничев – кандидат экономических наук, доцент кафедры теоретической экономики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», iarinichev@gmail.com.

В.А. Сидоров, доктор экономических наук, зав. кафедрой теоретической экономики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», sidksu@mail.ru.

И.В. Ариничева, доктор биологических наук, профессор кафедры высшей математики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», loukianova7@mail.ru.

Information about the authors

I.V. Arinichev, Candidate of Economic Sciences, Docent, the Dept. of Theoretical Economics, Kuban State University, iarinichev@gmail.com.

V.A. Sidorov, Doctor of Economic Sciences, Head of the Dept. of Theoretical Economics, Kuban State University, sidksu@mail.ru.

I.V. Arinicheva, Doctor of Biological Sciences, Professor, the Dept. of High Mathematics, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, loukianova7@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.07.2024; одобрена после рецензирования 26.09.2024; принята к публикации 10.10.2024.

The article was submitted 20.07.2024; approved after reviewing 26.09.2024; accepted for publication 10.10.2024.

© Ариничев И.В., Сидоров В.А., Ариничева И.В., 2024