



АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР АГРОТЕХНОЛОГИЙ И ТРАКТОРНОГО ПАРКА СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЯ: СТРУКТУРА И АЛГОРИТМЫ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Альт В.В., (✉)Елкин О.В., Исакова С.П., Савченко О.Ф.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

(✉)e-mail: oleg348@yandex.ru

Рассмотрены вопросы повышения эффективности и конкурентоспособности растениеводческого сельхозпредприятия путем информационного сопровождения производства с применением цифровых технологий. Исследован процесс выбора технологий и технических средств при возделывании зерновых культур. Изучены имеющиеся методы и программные средства, применяемые для решения этих задач. Обоснована целесообразность разработки web-ориентированного программного комплекса автоматизированного выбора агротехнологий и машинно-тракторного парка хозяйства, обеспечивающего учет и оперативную обработку разнообразной информации, характеризующей объективно существующее большое количество факторов, условий и особенностей производства в сельскохозяйственном предприятии. На основе анализа основных научно-методических составляющих технологий возделывания зерновых культур сформирована структурная схема web-приложения. Разработаны алгоритмы программных модулей как составных частей программного комплекса, имеющих общую базу данных и объединенных общим интерфейсом. Реализация программного комплекса в дальнейшем даст возможность автоматизировать процесс формирования годового планирования работ, расчет экономических показателей, позволит провести своевременные необходимые ремонтно-обслуживающие мероприятия для снижения потерь мощности, обусловленных неизбежным ухудшением технического состояния двигателей внутреннего сгорания машинно-тракторного парка в производственных условиях. Разрабатываемый программный комплекс может использоваться при производстве продукции растениеводства в системах поддержки принятия решений, построенных на базе цифровых технологий.

Ключевые слова: выбор технологий, алгоритм, программный комплекс, тракторный парк, диагностирование, энергетическая оценка

AUTOMATED SELECTION OF AGRICULTURAL TECHNOLOGIES AND TRACTOR FLEET OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE: WEB-APPLICATION STRUCTURE AND ALGORITHMS

Alt V.V., (✉)Elkin O.V., Isakova S.P., Savchenko O.F.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

(✉)e-mail: oleg348@yandex.ru

The issues of increasing efficiency and competitiveness of a crop farming enterprise through information support of production using digital technologies are considered. The process of selecting technologies and technical means in the cultivation of crops is investigated. The available methods and software tools used to solve these problems are studied. The expediency of developing a web-oriented software complex of the automated choice of agricultural technologies and MTF (machine

and tractor fleet), providing accounting and operational processing of a variety of information describing objectively existing large number of factors, conditions and characteristics of production in the agricultural enterprise is substantiated. Based on the analysis of the main scientific and methodological components of cereal crop cultivation technologies, a structural scheme of a web-application is formed. Algorithms for software modules as components of the software package, with a common database and a unified common interface are developed. The implementation of the software package in the future will automate the process of forming an annual work planning, calculation of economic indicators, will allow the timely implementation of the necessary repair and maintenance activities to reduce power losses due to the inevitable deterioration of the technical condition of the ICE of the machine-tractor fleet in production conditions. The software package under development can be used in crop production in decision support systems based on digital technologies.

Keywords: technology selection, algorithm, software package, tractor fleet, diagnostics, energy assessment.

Для цитирования: Альт В.В., Елкин О.В., Исакова С.П., Савченко О.Ф. Автоматизированный выбор агротехнологий и тракторного парка сельхозпредприятия: структура и алгоритмы web-приложения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 4. С. 107–119. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-4-12>

For citation: Alt V.V., Elkin O.V., Isakova S.P., Savchenko O.F. Automated selection of agricultural technologies and tractor fleet of an agricultural enterprise: web application structure and algorithms. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 4, pp. 107–119. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-4-12>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время применение цифровых технологий в аграрном секторе позволяет значительно повысить производительность, сократить затраты и снизить требования к рабочей силе [1, 2]. При этом цифровизация всех сельскохозяйственных систем осуществляется через внедрение инновационных (эмерджентных) технологий (искусственный интеллект, робототехника, интернет вещей, беспилотные летательные аппараты и др.) и новых аппаратных средств, программного обеспечения, мобильных приложений, сенсорных технологий и систем обработки больших данных [3–8].

В России степень внедрения цифровых технологий в различные сектора сельского хозяйства значительно ниже стран-лидеров, например, с применением информационных технологий обрабатывают от 5 до 10% пашни. В странах, наиболее развитых с точки зрения оснащенности сельского хозяйства информационными технологиями (США, Германия, Канада), уровень использования их превышает 30% (в Канаде до 80%) [9–12].

В растениеводстве информационные и цифровые технологии могут быть реализо-

ваны с большой эффективностью, поскольку отвечают по своей специфике характерным особенностям сельскохозяйственного производства, обусловленным значительной территориальной распределенностью производства, многообразием сельскохозяйственных объектов и процессов со сложной динамикой изменения их свойств в процессе производства, необходимостью постоянной оценки текущей ситуации, неоднозначностью алгоритмов принятия стратегических и тактических решений [1, 13].

Не менее существенно обеспечение работоспособности машинно-тракторного парка (МТП) и поддержание нормативных значений энергетических эксплуатационных параметров тракторов (мощности, расхода топлива) при выполнении полевых работ [14, 15]. Например, снижение мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) трактора на 15% от нормативного значения при выполнении посевных работ приводит к увеличению удельных затрат на 28,4%, что определено путем моделирования на примере посевного агрегата на базе колесного трактора с двигателем мощностью 125 кВт. Известно, что при обеспечении непрерыв-

ного определения фактического состояния МТП возможно выявить скрытые резервы мощности в пределах 6,0–15,6%, расхода топлива – 12,0–18,7% [16]. Очевидна целесообразность оперативного поддержания необходимого уровня энергообеспеченности полевых работ за счет мониторинга энергетических параметров МТП, информационного сопровождения каждой единицы техники в хозяйстве [17–19].

Отсюда следует необходимость разработки гибких алгоритмов и создание программного обеспечения для выбора технологий с применением современных средств автоматизированного проектирования и мониторинга технологического и технического обеспечения на основе всей совокупности данных и знаний в этой предметной области.

Существующие многочисленные разработки в области цифровых технологий и платформенных решений для повышения эффективности производства продукции растениеводства позволяют решать задачи, стоящие перед сельхозтоваропроизводителями во многих областях сопровождения технологий возделывания зерновых культур. В данных разработках применяются различные методы моделирования, информационного поиска, интеллектуального анализа данных, создания экспертных систем, эволюционные вычисления [20–25].

Интерес данных программных продуктов заключается в подходах к выбору технологий. Один из них состоит в сравнении фактического уровня природных и материальных ресурсов предприятия с нормативными, рассчитанными ранее в соответствующих регистрах технологий. Для этого проводится совокупная оценка имеющихся ресурсов, задается функция соответствия агротехнологиям из регистра технологий. Другой подход заключается в использовании комбинации математических (экономико-математическая модель) и графических (график паутины) методов моделирования. Кроме того, в представленных программных продуктах в разной степени учитываются природно-климатические условия сельхозтоваропроизводителя.

В то же время непосредственное применение их в конкретном сельхозпредприятии затруднено из-за большого количества региональных особенностей сельхозпроизводства (почвенно-климатических и производственных), разнообразной номенклатуры МТП с различной степенью износа, отсутствием контроля энергетических эксплуатационных параметров.

Реализация программного комплекса в силу сложности поставленной задачи целесообразна путем разработки совокупности отдельных программных компонент, для чего необходимо определить вклад каждого из них в уже сформированный авторами общий алгоритм работы [26].

Цель исследования – разработать структурную схему web-приложения и алгоритмы выбора агротехнологий и технических средств с учетом особенностей расположения хозяйства и его производственных условий.

Данные алгоритмы и структурная схема войдут в основу программного комплекса (web-приложения) по сопровождению машинных агротехнологий.

Объект исследования – процесс выбора технологий и технических средств при возделывании зерновых культур.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящее время используется несколько методов подбора агротехнологий и оптимизации использования машинно-тракторного парка. При разработке алгоритмов планирования сельскохозяйственных работ по производству зерновых культур и создания программных компонент для web-комплекса использован метод, основанный на оценке условий природно-климатической зоны расположения хозяйства, влияющих на выбор технологии и МТП, а также учете фитосанитарных и производственных условий. Чтобы оценить варианты технологий и технических средств, необходимых для ее выполнения, разработана математическая модель с оценкой вариантов по следующим критериям: расходу горюче-смазочных материалов (ГСМ), количеству механизаторов,

затратам на производство [27]. Чтобы подобрать технологию и технические средства, необходимо указать постоянные и переменные факторы, влияющие на объект исследования. К постоянным факторам в данном исследовании относятся агроклиматическая зона расположения хозяйства, его производственная направленность, конфигурация полей и их площади, состав машинно-тракторного парка хозяйства, культуры, севооборот и др. К переменным факторам относятся агроклиматические характеристики зоны (сумма осадков, температур), сорта культур, необходимость применения средств защиты и удобрений и др. В ходе работы учитывали агротехнологии возделывания зерновых культур Новосибирской области. Основываясь на этих технологиях, разработаны структурная схема программного комплекса и алгоритмы программных модулей для подбора агротехнологий и технических средств для их выполнения. Определено применение информационных технологий, имеющих в своей основе математические алгоритмы и информационные модели, поскольку современное сельское хозяйство ориентируется на точное измерение процессов, происходящих при производстве продукции [28].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения совокупности программных модулей автоматизированного программного комплекса и разработки алгоритмов их работы разработана структурная схема web-приложения, отражающая значимые составляющие рассматриваемого процесса и их связи (см. рис. 1).

В состав структурной схемы входят следующие основные блоки: ввод исходной информации, подбор агротехнологий, подбор техники, энергообеспечение полевых работ, база данных (БД). Важной объединяющей составляющей модели является наличие общей базы данных, в которой содержится разнообразная информация: первичная, справочная, дополнительная, результаты работы и др.

Процесс подбора технологий и технических средств на начальном этапе заключа-

ется в сборе исходной информации о постоянных и переменных факторах и факторах, влияющих на производство, которые необходимы при выборе агротехнологий и тракторного парка сельхозпредприятия для сравнения вариантов и расчета экономических показателей. Среди них индивидуальные для сельхозтоваропроизводителя данные о структуре полей, фитосанитарной обстановке, уровне интенсификации, севооборотах, рабочих, технологиях, технике, имеющейся в хозяйстве.

Процесс определения вариантов технологий с указанием необходимых технологических операций, сроков и кратности их проведения заключается в подборе нескольких вариантов агротехнологий из имеющихся в БД программного комплекса исходя из индивидуальных особенностей зоны расположения сельхозпредприятия.

После выбора сельхозтоваропроизводителем одного из вариантов технологий, предложенных системой на предыдущем этапе, осуществляют подбор вариантов рационального использования МТП, необходимого для ее выполнения. На основе математической модели рассчитывают экономические показатели для оценки полученных на данном этапе вариантов [27]. При этом предусмотрена корректировка состава машинно-тракторного агрегата (МТА) с учетом результатов текущего мониторинга эксплуатационных энергетических параметров МТА, например при достижении параметром предельно-допустимого значения. В результате работы данного блока формируется список техники, нужной для выполнения заданного объема работ в оптимальные агротехнические сроки.

Оценка отклонений энергетических эксплуатационных параметров МТП ДВС от нормальных значений осуществляется на основе мониторинга диагностических сигналов ДВС. При расчете энергетических параметров ДВС (мощности, расхода топлива) применена динамическая модель с использованием тестовых воздействий на двигатель [29].

Все нормативно-технические данные и справочные сведения о культурах, удобрениях

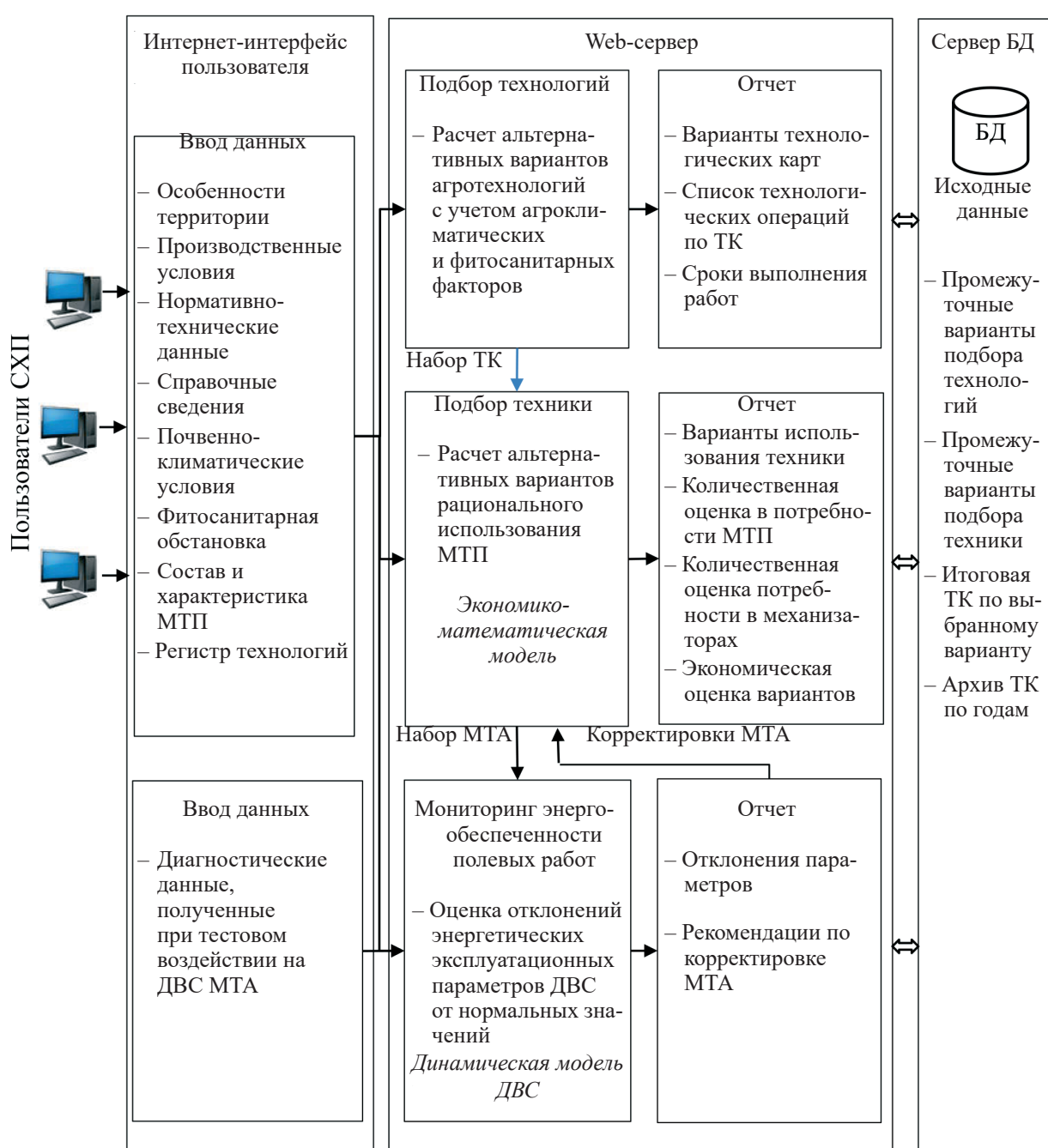


Рис. 1. Структурная схема работы web-приложения для автоматизированного подбора агротехнологий и тракторного парка

Fig. 1. Block diagram of a web application for automated selection of agricultural technologies and tractor fleet

ях, средствах защиты, сельскохозяйственной техники (тракторы и сельхозмашины), видах технологических работ, технологических операциях и их характеристиках, агроклиматических зонах, промежуточных вариантах подбора технологий и технических средств, рассчитанных технологических картах по

выбранному варианту, а также архив по хозяйству по годам хранятся в базе данных.

Разработанный алгоритм модуля по выбору технологий предусматривает возможность применения различных технологий из имеющихся в БД базовых технологий по следующим критериям:

- определению способа обработки почвы с учетом агроклиматических и фитосанитарных условий хозяйства;

- соответствию технологии заданному уровню интенсификации;

- соответствию технологии севооборота;

- применимости технологий в данной природно-климатической зоне с учетом культуры, рельефности и структуры полей;

- определению необходимости и кратности минерального питания;

- определению необходимости и кратности технологических операций по уходу за посевами, формированию севооборота (см. рис. 2).

Алгоритм программного модуля по подбору технических средств предусматривает возможность подбора техники, исходя из конфигурации полей и ширины захвата машинно-тракторного агрегата по следующим критериям (см. рис. 3):

- выполнению заданного объема работ в оптимальные агротехнические сроки;

- минимуму механизаторов;

- минимуму расхода ГСМ;

- возможности использования широкозахватной техники (размер и конфигурация полей);

- расчету минимума прямых затрат и других экономических показателей.

Алгоритм автоматизированного энергетического мониторинга тракторного парка сельхозпредприятия включает (см. рис. 4):

- измерение частоты вращения коленчатого вала при тестовых динамических воздействиях на ДВС;

- синхронизацию измерений с контролем и обеспечением в цикле испытаний необходимого числа полноценных единичных тестовых воздействий;

- построение по данным измерений скоростной и регуляторной динамических характеристик ДВС по мощности и крутящему моменту;

- расчет комплекса диагностических характеристик по скоростной характеристике.

Разработанный алгоритм реализован при создании автоматизированной цифровой технологии энергетического мониторин-

га тракторного парка сельхозпредприятия на основе диагностического устройства «МОТОР-ТЕСТЕР СибФТИ» [30]. Экспериментальная проверка технологии в производственных условиях подтвердила возможность энергетического мониторинга тракторного парка во время полевых работ. Анализ полученных данных мониторинга позволил выполнить оперативные ремонтно-регулирующие воздействия, повысить энергообеспеченность полевых работ, предотвратить перерасход топлива и увеличение затрат, повысить эффективность производства сельхозпродукции.

Тестирование работы алгоритмов проведено на примере хозяйства южно-таежной лесной зоны Новосибирской области при подборе технологий возделывания яровой пшеницы. В результате работы программной компоненты на основе разработанных алгоритмов формируются варианты технологий применительно к природным (аэроландшафтный район, агроэкологическая группа земель) и производственным условиям (культура, предшественник в севообороте, уровень интенсификации). В качестве исходного материала для формирования вариантов служат регистры технологических операций и условия их применения. В результате сформированы два альтернативных варианта технологий с перечнем операций. Данные технологии служат основой для дальнейшего подбора сельскохозяйственной техники и экономической оценки вариантов.

На основе представленных алгоритмов в дальнейшем планируется разработать программный комплекс, который позволит автоматизировать процесс формирования годового планирования работ, расчет экономических показателей, проводить своевременные необходимые ремонтно-обслуживающие мероприятия для снижения потерь мощности, обусловленных неизбежным ухудшением технического состояния ДВС машинно-тракторного парка в производственных условиях. Программный комплекс может использоваться при производстве продукции растениеводства в системах поддержки принятия решений, построенных на базе цифровых технологий.



Рис. 2. Алгоритм программного модуля «Подбор технологий»

Fig. 2. Algorithm of the software module «Selection of technologies»

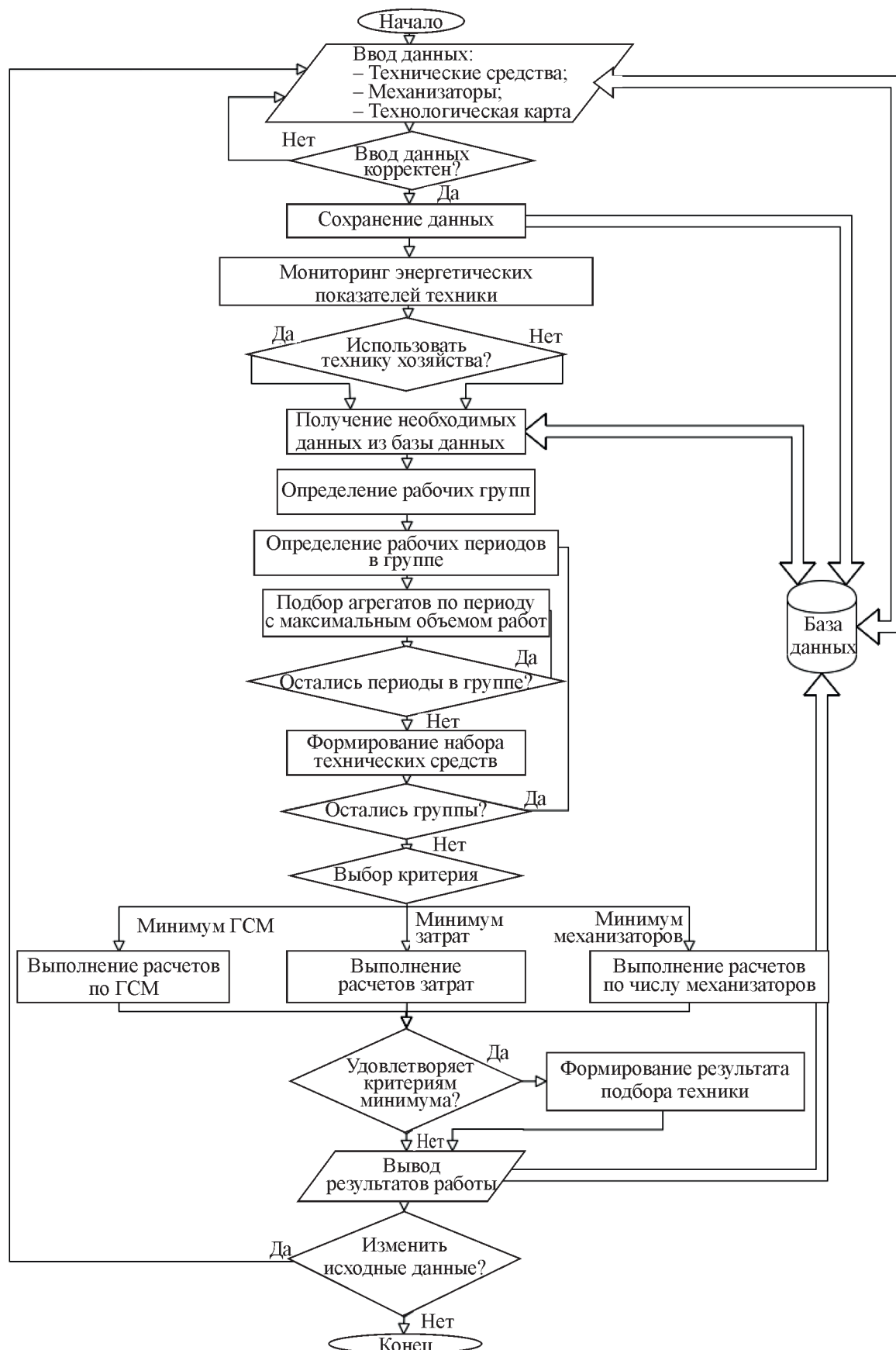


Рис. 3. Алгоритм программного модуля «Подбор техники»

Fig. 3. Algorithm of the software module «Selection of equipment»

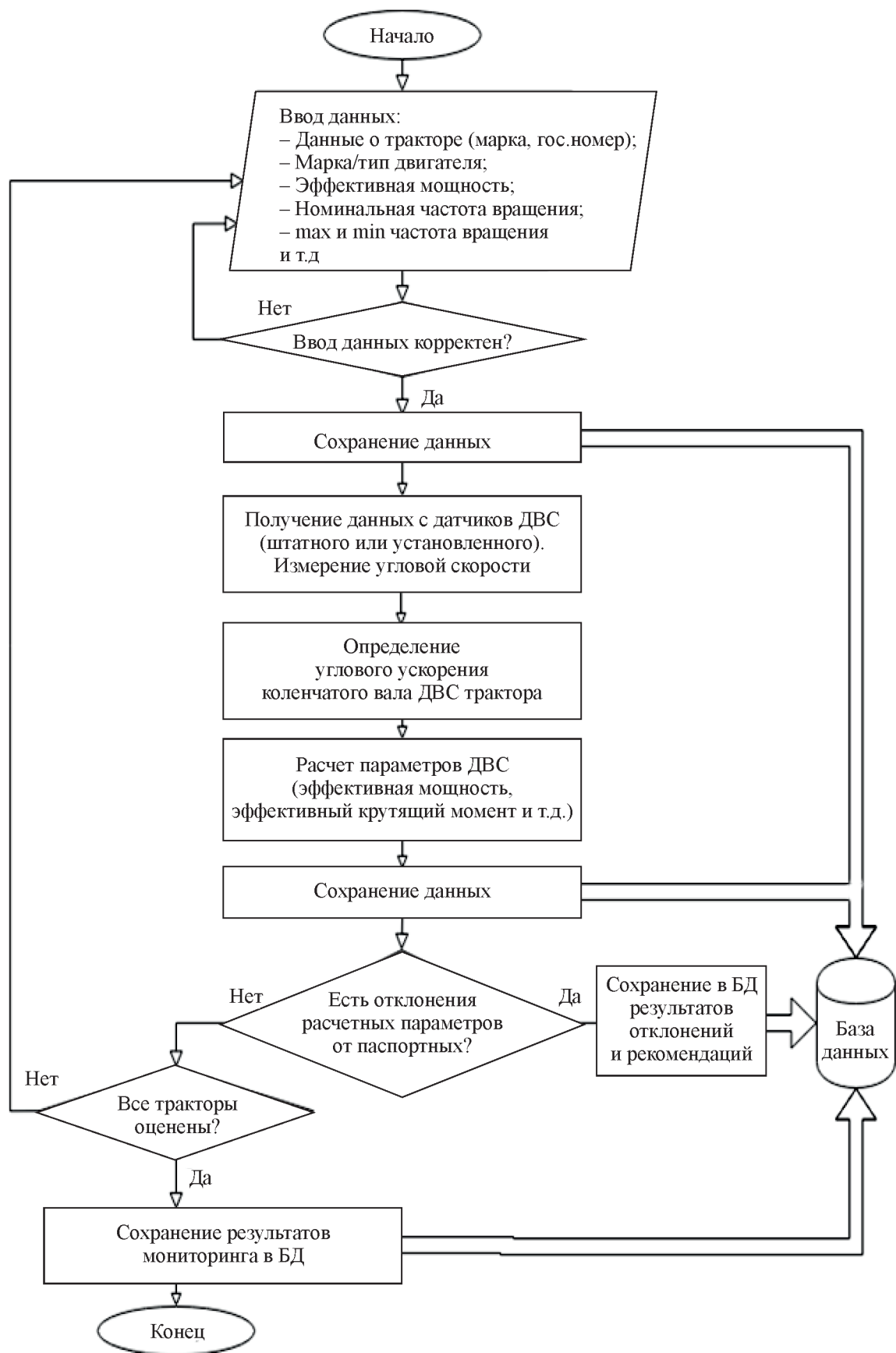


Рис. 4. Алгоритм мониторинга энергетических показателей тракторного парка

Fig. 4. Algorithm for monitoring the energy indicators of the tractor fleet

ВЫВОДЫ

1. Обосновано применение метода графического представления алгоритмов как наиболее адаптивного инструмента для целостного и формализованного описания процесса автоматизированного выбора агротехнологий и технических средств. Разработана структурная схема web-приложения, содержащая блоки исходной информации, подбора технологий и техники, а также энергообеспечения полевых работ на основе мониторинга энергетических параметров машинно-тракторных агрегатов.

2. Разработаны с использованием структурной схемы алгоритмы программных модулей как составных частей программного комплекса, имеющих общую базу данных и объединенным общим интерфейсом.

3. Разработанная структурная схема и алгоритмы программного комплекса позволят в автоматизированном виде осуществлять подбор агротехнологий и машинно-тракторного парка для условий конкретного хозяйства, сократить затраты и повысить эффективность сельскохозяйственного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rose D.C., Wheeler R., Winter M., Lobley M., Chivers Ch.-A. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet // *Land Use Policy*. 2021. Vol. 100. Article 104933. DOI: 10.1016/j.land use pol.2020.104933.
2. Башилов А.М., Королев В.А. Цифровая трансформация агропредприятий // *Вестник аграрной науки Дона*. 2021. № 3 (55). С. 24–32.
3. Hovhannisyan T., Efendyan P., Vardanyan M. Creation of a digital model of fields with application of DJI phantom 3 drone and the opportunities of its utilization in agriculture // *Annals of Agrarian Science*. 2018. Vol. 16. N 2. P. 177–180. DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.006.
4. Peter W.B. Phillips, Relf-Eckstein J.-A., Jobe G., Wixted B. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture // *Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. Vol. 90. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.001.
5. Talaviya T., Shah D., Patel N., Yagnik H., Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimization of irrigation and

- application of pesticides and herbicides // *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. Vol. 4. P. 58–73. DOI: 10.1016/j.aiia.2020.04.002.
6. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence // *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019. Vol. 2. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.aiia.2019.05.004.
 7. Gurfova S.A. Digitalization of agriculture: formation and development // *Экономика и предпринимательство*. 2020. № 3 (116). С. 445–448.
 8. Zhumaxanova K.M., Yessymkhanova Z.K., Yes-senzhigitova R.G., Kaydarova A.T. The current state of agriculture digitalization: problems and ways of solution // *Central Asian Economic Review*. 2019. N 5 (128). С. 144–155.
 9. Rijswijk K., Klerkx L., Turner J.A. Digitalization in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: Initial understandings and emerging organizational responses to digital agriculture // *Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. Vol. 90–91. Is. 1. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100313.
 10. Khondoker A. Perception and adoption of a new agricultural technology: Evidence from a developing country // *Technology in society*. 2018. Vol. 55. P. 126–135.
 11. Yiyen Chen, Ye Li, Cunjin Li. Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 268. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122071.
 12. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Креймер А.С. Мониторинг и прогнозирование в области цифрового сельского хозяйства по итогам 2018 г.: монография. Краснодар: Издательство Кубанского государственного аграрного университета, 2019. 100 с.
 13. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Дорохов А.А. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. № 2 (31). С. 41–52.
 14. Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. № 2 (31). С. 12–18.
 15. Тимонин С.Б., Тимонина А.С. Внедрение цифровых технологий в процессы обеспечения оптимального функционирования машинно-тракторного агрегата // *Нива Поволжья*. 2018. № 3. С. 124–132.

16. Старцев А.В., Алушкин Т.Е., Романов С.В., Сторожев И.И. Модель определения эксплуатационных затрат машинно-тракторных агрегатов на посев с учетом продолжительности работ и размеров площадей // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 1. С. 82–87. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-1-82-87.
17. Черноиванов В.И., Габитов И.И., Неговора А.В. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники // Технический сервис машин. 2018. № 130. С. 74–81.
18. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. 2020. № 11 (281). С. 39–43. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.
19. Зубина В.А. Обзор и анализ методов оптимизации и компьютерных программ для повышения эффективности МТП // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 41. С. 26–32.
20. Коковихин С.В., Биднина И.А., Шарий В.А., Червань А.Н., Дробитько А.В. Оптимизация агротехнологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях с использованием информационных технологий // Почвоведение и агрохимия. 2020. № 2 (65). С. 63–71.
21. Бейлис В.М. Оценка материально-технических ресурсов технологий производства сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 3. С. 39–44. DOI: 22314/2073-7599-2017-3-39-44.
22. Степных Н.В., Нестерова Е.В., Заргарян А.М. Экономическая оценка технологий выращивания сельскохозяйственных культур с помощью веб-приложения // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1 (33). С. 24–29.
23. Gostev A.V., Pykhtin A.I. Program for the rational choice of highly cost-effective adaptive technology of grain cultivation for various conditions of the European part of the Russian Federation // Journal of Applied Engineering Science. 2020. Vol. 18. N 679. P. 216–221. DOI: 10.5937/jaes18-26312.
24. Ткаченко В.В. Методика многокритериальной комплексной оценки и выбора технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 123 (09). С. 1–19.
25. Gümüşcü A., Tenekeci M.E., Bilgili A.V. Estimation of wheat planting date using machine learning algorithms based on available climate data // Sustainable Computing: Informatics and Systems. 2020. Vol. 28. DOI: 10.1016/j.suscom.2019.01.010.
26. Альт В.В., Балушкина Е.А., Исакова С.П. Алгоритм выбора агротехнологий и технических средств при производстве продукции растениеводства // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 4. С. 93–100. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-11.
27. Альт В.В., Балушкина Е.А., Исакова С.П. Математическая модель по выбору технологий возделывания зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 2. С. 92–99. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-11.
28. Yadrovskaya M.V. Revisiting computer modeling // Advanced Engineering Research. 2020. N 20 (3). P. 332–345.
29. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Принципы разработки компьютерной динамической модели автотракторных ДВС // Вестник НГАУ. 2014. № 2. С. 141–146.
30. Альт В.В., Савченко О.Ф., Ёлкин О.В. Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13. № 4. С. 25–31. DOI: 10/22314/2073-7599-2019-13-4-25-31.

REFERENCES

1. Rose D.C., Wheeler R., Winter M., Lobley M., Chivers Ch.-A. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*, 2021, vol. 100, no article 104933. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933. (In Russian).
2. Bashilov A.M., Korolev V.A. Digital transformation of agricultural enterprises. *Vestnik agrarnoi nauki Dona = Don agrarian science bulletin*, 2021, no. 3 (55), pp. 24–32. (In Russian).
3. Hovhannisyan T., Efendyan P., Vardanyan M. Creation of a digital model of fields with application of DJI phantom 3 drone and the opportunities of its utilization in agriculture. *Annals of Agrarian Science*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 177–180. DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.006.
4. Peter W.B. Phillips, Relf-Eckstein J.-A., Jobe G., Wixted B. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. *Wa-*

- geningen *Journal of Life Sciences*, 2019, vol. 90, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.001.
5. Talaviya T., Shah D., Patel N., Yagnik H., Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimization of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2020, vol. 4, pp. 58–73. DOI: 10.1016/j.aiaa.2020.04.002.
6. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2019, vol. 2, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.aiaa.2019.05.004.
7. Gurfova S.A. Digitalization of agriculture: formation and development. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*, 2020, no. 3 (116), pp. 445–448.
8. Zhumaxanova K.M., Yessymkhanova Z.K., Yessenzhigitova R.G., Kaydarova A.T. The current state of agriculture digitalization: problems and ways of solution. *Central Asian Economic Review*, 2019, no. 5 (128), pp. 144–155.
9. Rijswijk K., Klerkx L., Turner J.A. Digitalization in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: Initial understandings and emerging organizational responses to digital agriculture. *Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019, vol. 90–91, is. 1, pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100313.
10. Khondoker A. Perception and adoption of a new agricultural technology: Evidence from a developing country. *Technology in society*, 2018, vol. 55, pp. 126–135.
11. Yiyan Chen, Ye Li, Cunjin Li. Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 268. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122071.
12. Truflyak E.V., Kurchenko N.Yu., Kreimer A.S. *Monitoring and forecasting in the field of digital agriculture by the end of 2018*. Krasnodar, KubGAU Publ., 2019, 100 p. (In Russian).
13. Izmailov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Dorokhov A.A. Digital agriculture (review of digital agricultural technologies). *Innovatsii v sel'skom khozyaistve = Innovations in agriculture*, 2019, no. 2 (31), pp. 41–52. (In Russian).
14. Elizarov V.P., Artyushin A.A., Tsench Yu.S. Perspective directions of development of national agricultural machinery. *Vestnik VIESKh = VIESH Institute Herald*, 2018, no. 2 (31), pp. 12–18. (In Russian).
15. Timonin S.B., Timonina A.S. The introduction of digital technologies in the processes of ensuring the optimal functioning of the machine-tractor unit. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*, 2018, no. 3, pp. 124–132. (In Russian).
16. Startsev A.V., Alushkin T.E., Romanov S.V., Storozhev I.I. A model for determining the operating costs of machine-tractor units for sowing, taking into account the duration of work and the size of the area. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and agricultural machinery*, 2020, no. 1, pp. 82–87. (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-1-82-87.
17. Chernoi vanov V.I., Gabitov I.I., Negovora A.V. Digital technologies and electronic means in the system of technical maintenance and repair tractor and combine harvesters. *Tekhnicheskij servis mashin = Machinery technical service*, 2018, no. 130, pp. 74–81. (In Russian).
18. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2020, no. 11 (281), pp. 39–43. (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.
19. Zubina V.A. Review and analysis of optimization methods and computer programs to improve the efficiency of MTF. *Vestnik agrarnoi nauki Dona = Don agrarian science bulletin*, 2018, no. 41, pp. 26–32. (In Russian).
20. Kokovikhin S.V., Bidnina I.A., Sharii V.A., Chervan' A.N., Drobit'ko A.V. Optimization of agro-technological process of cultivation of agricultural crops on irrigated lands with the use of information technology. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemistry*, 2020, no. 2 (65), pp. 63–71. (In Russian).
21. Beilis V.M. Assessment of material and technical resources of crop production technologies. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural machinery and technologies*, 2017, no. 3, pp. 39–44. (In Russian). DOI: 22314/2073-7599-2017-3-39-44.
22. Stepnykh N.V., Nesterova E.V., Zargaryan A.M. Economic evaluation of growing technologies of agricultural crops using a web application. *Vestnik kurganskoi GSKhA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, 2020, no. 1 (33), pp. 24–29. (In Russian).

23. Gostev A.V., Pykhtin A.I. Program for the rational choice of highly cost-effective adaptive technology of grain cultivation for various conditions of the European part of the Russian Federation. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, vol. 18, no. 679, pp. 216–221. DOI: 10.5937/jaes18-26312.
24. Tkachenko V.V. Methods of multicriterial comprehensive assessment and selection of the technology for growing crops. *Nauchnyi zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2016, no. 123 (09), pp. 1–19. (In Russian).
25. Gümüşcü A., Tenekeci M.E., Bilgili A.V. Estimation of wheat planting date using machine learning algorithms based on available climate data. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2020, vol. 28. DOI: 10.1016/j.suscom.2019.01.010.
26. Al't V.V., Balushkina E.A. Isakova S.P. Algorithm for choosing agrotechnologies and technical means in the production of crops. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 4, pp. 93–100. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-11.
27. Al't V.V., Balushkina E.A. Isakova S.P. Mathematical model for choosing grain crops cultivation technologies. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 2, pp. 92–99. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-11.
28. Yarovskaya M.V. Revisiting computer modeling. *Advanced Engineering Research*, 2020, no. 20 (3), pp. 332–345.
29. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Ol'shevskii S.N. Principles to design a computer dynamic model of autotractor ICE. *Vestnik NSAU = Bulletin of NSAU*, 2014, no. 2, pp. 141–146. (In Russian).
30. Al't V.V., Savchenko O.F., Elkin O.V. Digital technology of assessment the power capacity of tractor fleet of an agricultural enterprise. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural machinery and technologies*, 2019, vol. 13, no. 4, pp. 25–31. (In Russian). DOI: 10/22314/2073-7599-2019-13-4-25-31.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Альт В.В., доктор технических наук, академик РАН, профессор

✉ **Елкин О.В.**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: oleg348@yandex.ru

Исакова С.П., старший научный сотрудник

Савченко О.Ф., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

Victor V. Alt, Doctor of Science in Engineering, Academician RAS, Professor

✉ **Oleg V. Elkin**, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: oleg348@yandex.ru

Svetlana P. Isakova, Senior Researcher

Oleg F. Savchenko, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.03.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 30.05.2022

Дата публикации / Published 26.09.2022