

Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты

Виктор Валентинович Альт,
академик РАН, доктор технических наук, профессор,
e-mail: altviktor@ngs.ru;

Светлана Павловна Исакова,
старший научный сотрудник,
e-mail: isakova.s.p@yandex.ru

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Российская Федерация

Реферат. Рассмотрены вопросы модернизации сельскохозяйственного сектора для повышения его эффективности и конкурентоспособности на основе внедрения цифровых технологий. Приведен анализ методов и программных средств для подбора технологий и технических средств. *(Цель исследования)* Разработать программные модули для управления производством продукции растениеводства путем выбора агротехнологий и рационального использования машинно-тракторного парка с учетом агроклиматических и производственных условий хозяйства. *(Материалы и методы)* Для разработки программных компонент *web*-комплекса по сопровождению годового планирования работ при возделывании зерновых культур использовался метод, основанный на оценке природно-климатических и производственных условий. *(Результаты и обсуждение)* Обоснована целесообразность разработки программных компонент *web*-ориентированного программного комплекса путем выбора агротехнологий и вариантов рационального использования технических средств. Разработаны структурная схема программного комплекса в виде *web*-приложения, а также программные модули «Подбор технологий» и «Подбор технических средств», имеющие общую базу данных и объединенный интерфейс. Тестирование работы программных модулей по подбору технологий проведено в 2022 году на примере северо-лесостепной зоны Новосибирской области. Рассматривался вариант технологий возделывания пшеницы с нормальным уровнем интенсификации для четырех рабочих участков с разными предшественниками. *(Выводы)* Разработанные программные компоненты в дальнейшем войдут в программный комплекс в виде *web*-приложения при сопровождении машинных агротехнологий и могут использоваться в качестве системы поддержки принятия рациональных управленческих решений. Программный комплекс позволит автоматизировать процесс подбора технологий, формировать годовой план работ, рассчитывать экономические показатели.

Ключевые слова: выбор технологий растениеводства, выбор технических средств, программный комплекс, структурная схема, программные компоненты.

■ **Для цитирования:** Альт В.В., Исакова С.П. Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 12-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18. EDN: GQRORK.

Optimizing Work Planning for Grain Crop Cultivation: Software Components

Viktor V. Alt,
member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: altviktor@ngs.ru;

Svetlana P. Isakova,
senior researcher,
e-mail: isakova.s.p@yandex.ru

Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation

Abstract. The paper considers modernization of the agricultural sector with the aim of enhancing its efficiency and competitiveness through the implementation of digital technologies. Additionally, it analyzes the methods and software employed for the selection of technologies and technical tools. *(Research purpose)* The research aims to develop software modules for managing the production of crop products. This involves the selection of appropriate agricultural technologies and the optimal utilization of the machine and tractor fleet. The software designed is expected to take into account the farm agroclimatic and production conditions. *(Materials and methods)* The development of software components for a *web*-based software package aimed to facilitate the annual work

planning in grain crop cultivation, is based on a method rooted in the evaluation of natural, climatic, and production conditions. (*Results and discussion*) The findings support the feasibility of developing software components for a *web*-based software package by selecting agricultural technologies and determining optimal utilization options for technical means. The research resulted in the development of a structural scheme for the software package designed as a *web*-based application, encompassing such software modules as «Selection of technologies» and «Selection of technical means». These modules share a unified interface and operate on a common database. The operation of software modules for selecting technologies was tested in the northern forest-steppe zone of the Novosibirsk region in 2022. The tests examined the cultivation technologies for wheat at a standard intensification level across four working areas with varying predecessors. (*Conclusions*) The developed software components will be subsequently integrated into the software package in the form of a *web* application. This application can serve as a support system for making informed managerial decisions in the realm of machine-based agricultural technologies. The software package facilitates the automation of technology selection, the creation of an annual work plan, and the computation of economic indicators.

Keywords: choice of crop production technologies, choice of technical means, software package, block diagram, software components.

■ **For citation:** Alt V.V., Isakova S.P. Planirovanie rabot pri vozdeleyvanii zernovykh kul'tur: programmnye komponenty [Optimizing work planning for grain crop cultivation: software components]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 12-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18. EDN: GQRORK.

Для развития сельского хозяйства очевидна необходимость его модернизации на основе имеющихся и непрерывно развивающихся научных достижений и внедрения цифровых технологий в рамках научно-технологической модели *Agriculture 4.0* [1, 2]. Наряду с этим актуальна разработка эффективных механизмов и структур их распространения (нейронные сети, Интернет вещей, беспилотные летательные аппараты и др.) [3]. Одна из приоритетных задач заключается в разработке и широком освоении наукоемких агротехнологий [4]. В условиях свободного рынка инновационных технологий и машин чрезвычайно важно обеспечить их правильный выбор в соответствии с агроэкологическими и другими особенностями сельскохозяйственных предприятий [5].

Современные агротехнологии представляют собой комплексы технологических операций по управлению продукционным процессом сельскохозяйственных культур в агроэкоценозах с целью получения планируемого объема и качества урожая при обеспечении экологической безопасности и определенной экономической эффективности [6]. Специфика хозяйства обуславливает основные принципы использования агротехнологий: альтернативность, адаптированность к природным и хозяйственным условиям на основе экологической и физической оценки земель, динамический подход к созданию и управлению агроэкоценозами.

Для эффективного развития растениеводческих предприятий важны не только техническое и ресурсное оснащение, но и степень использования научных достижений, реализованных в технологических разработках, которые создают практическую основу информационного обеспечения производства при проектировании систем земледелия и формировании пакета агротехнологий [7, 8]. Информационное пространство должно целенаправленно формироваться

на основе информационных ресурсов всех уровней и обеспечивать ежегодное взаимосвязанное решение основных технологических и управленческих задач:

- выбор структуры и объемов производства;
- определение структуры севооборотов, культур и сортов, их оптимальное размещение;
- проектирование пакета технологий, адаптированных к природным, агротехнологическим и хозяйственным условиям предприятия.

Кроме того, важна дифференциация технологий по уровню интенсификации производства в зависимости от ресурсного потенциала [7]. При сравнительной оценке агротехнологий основными показателями являются: возделываемые сорта, агроклиматические и почвенно-ландшафтные условия, применение удобрений и средств защиты растений, способы обработки почвы, состав и состояние технических средств и пр. [9, 10].

Особенности природно-климатической зоны определяют специализацию хозяйства, соответственно, технологии возделывания культур, структуру посевных площадей, схемы севооборотов, виды и объем производственных операций, состав машинно-тракторного парка [11]. Соблюдение агротехнических сроков и качество работ напрямую зависят от обеспечения комплексной механизации производства. Для этого необходимо определить оптимальный состав машинно-тракторного парка, который обеспечит выполнение комплекса сельскохозяйственных работ в срок с наименьшими затратами [12]. Применение экономико-математических методов в совокупности с использованием информационных технологий позволяет одновременно учесть все экономические и агротехнические условия и найти лучшие варианты [13].

Цифровые информационные технологии в научных исследованиях стали основным инструментом решения оптимизационных многофакторных задач

[14, 15]. Цифровые технологии имеют широкие перспективы в связи со спецификой ведения сельского хозяйства, которая характеризуется значительной территориальной распределенностью, переходом на комплексную систему точного земледелия, потенциалом современных технических средств, большим объемом разнообразной информации о технологических процессах, сложными алгоритмами принятия стратегических и тактических решений и др.

Цель исследования. Разработать программные модули для управления производством продукции растениеводства путем выбора агротехнологий и рациональной структуры машинно-тракторного парка (МТП) с учетом агроклиматических и производственных условий хозяйства, на основе которых возможна разработка программного комплекса в виде web-приложения, используемого при сопровождении машинных агротехнологий.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования рассматривался процесс выбора технологий и технических средств возделывания зерновых культур. Для разработки программных компонент web-комплекса по сопровождению годового планирования при возделывании зерновых культур использовался метод, основанный на оценке природно-климатической зоны и производственных условий. Разработана математическая модель с оценкой вариантов по расходу горюче-смазочных материалов (ГСМ), количеству механизаторов, производственным затратам [16]. Технологии и технические средства подбирали путем анализа постоянных и переменных факторов, влияющих на объект исследования: агроклиматическая зона, специализация хозяйства, конфигурация и площадь полей, состав МТП, виды и сорта культур, севооборот, потребность в средствах защиты растений, удобрениях и др.

Определено применение информационных технологий, которые базируются на математических алгоритмах и информационных моделях, поскольку современное сельское хозяйство ориентируется на точное измерение процессов при производстве продукции [17].

Результаты и обсуждение. Процесс планирования производства продукции растениеводства включает несколько этапов (рис. 1). Предварительно проводится выбор и оценка технологий и технологических приемов в зависимости от агроклиматического района, почвенного состава на рабочих участках, необходимого уровня интенсификации. Далее с помощью экономико-математической модели определяются рациональный состав машинно-тракторного парка, количество и наличие техники и механизаторов. Критерием является минимизация прямых эксплуатационных затрат, количества механизаторов и расхода ГСМ. Формируется список техники для выполнения объема работ в заданные агротехнические сроки

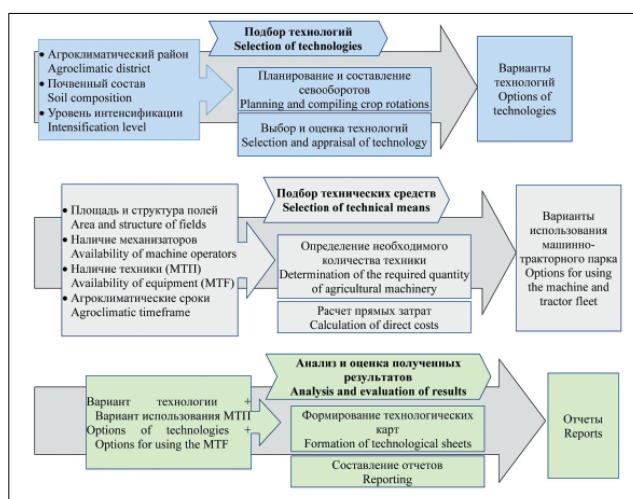


Рис. 1. Этапы планирования производства продукции растениеводства

Fig. 1. Stages of crop production planning

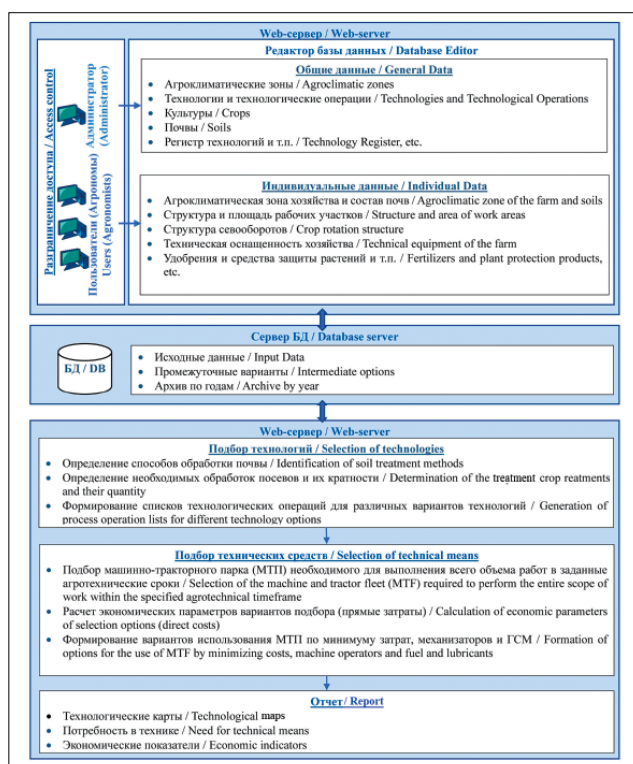


Рис. 2. Структурная схема программного комплекса по выбору технологий и технических средств в виде web-приложения

Fig. 2. Structural scheme of a web-based software package for technology and technical means selection

ки. На третьем этапе после анализа и оценки результатов составляются технологические карты и отчеты.

Для автоматизации выбора технологий и технических средств разработаны программные модули «Подбор технологий» и «Подбор технических средств», которые в дальнейшем войдут в программный комплекс в виде web-приложения. Структурная схема программного комплекса описывает взаимодействие этих программных модулей (рис. 2).

Все нормативно-технические данные и справочные сведения по хозяйству, в том числе промежуточные варианты технологий и технических средств, технологические карты, а также архивы по годам хранятся в базе данных.

Работу программных модулей по подбору технологий тестировали в 2022 году на примере сево-

ро-лесостепной зоны Новосибирской области с плакорными землями, дерново-подзолистыми и дерново-подзолистыми глеевыми почвами. Вариант технологий для возделывания пшеницы с нормальным уровнем интенсификации для четырех рабочих участков с разными предшественниками приведен в [таблице 1](#).

Таблица 1

Table 1

РЕЗУЛЬТАТ ПОДБОРА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЙ / RESULT OF THE TECHNOLOGY OPTION SELECTION

Вариант технологии Technology options	Описание технологии / Technology description
2022/Нормальный/Пшеница/Зерновые* / 2022/Normal/Wheat/Grain*	
Яровая пшеница по зерновым культурам Spring wheat by grain	Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm
	Культивация / Cultivation
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – ранние / Spring sowing. Early timelines for sowing spring crops
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crops
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping
2022/Нормальный/Пшеница/Многолетние травы / 2022/Normal/Wheat/Perennial	
Яровая пшеница по многолетним травам Spring wheat by perennial herbs	Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm
	Культивация / Cultivation
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – средние / Spring sowing. Average timelines for sowing spring crops
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crops
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping
2022/Нормальный/Пшеница/Пропашные / 2022/Normal/Wheat/Row	
Яровая пшеница по пропашным культурам Spring wheat by row crops	Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm
	Культивация / Cultivation
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – поздние / Late timelines for sowing spring crops
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур / Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crops
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping
2022/Нормальный/Пшеница/Пар / 2022/Normal/Wheat/Steam	
Яровая пшеница по пару Spring wheat by fallow fields	Боронование зубowymi боровами пара и зяби / Harrowing fallow and fall-plowed lands
	Культивация / Cultivation
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – ранние / Sowing spring. Early timelines for sowing spring crops
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур / Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crop
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping
*Наименование технологических карт в формате: Год/ Уровень интенсификации / Культура / Предшественник *Labeling the technological maps in the format: Year / Intensification level / Crop / Predecessor	

С помощью программного модуля для подбора технических средств сформирован вариант использования МТП применительно к агроклиматическим условиям расположения хозяйства, рельефности полей и наличия кадров. Для выбранного варианта технологий предложен машинно-тракторный парк следующего состава: тракторы *JD 8335R* – 4 ед., *JD 9470R* – 4 ед., *JD 4730* – 3 ед., комбайны *Harvester Acros-595 Plus* – 2 ед., *Harvester JD W650* – 2 ед.; сельскохозяйственная техника: плуг оборотный *Kverland RM100 8* – 3 ед., культиватор *Carrier 1225* – 2 ед., зерновые сеялки *Rapid-800* – 2 ед., *Rapid-600* – 1 ед., жатка *JD 625D* – 2 ед., зубовая борона *Degelman 7000* – 1 ед.

По результатам подбора техники формируются технологические карты, а также некоторые графики, такие как сводные затраты, загрузка техники, календарный график выполнения работ. Пример формирования технологической карты для одного рабочего участка представлен в [таблице 2](#).

Выводы. Показана целесообразность разработки программного комплекса для управления производством продукции растениеводства путем выбора агротехнологий и рационального использования имеющегося машинно-тракторного парка для повышения эффективности и конкурентоспособности растениеводческого предприятия на основе комплексного учета условий хозяйства, автоматизации интеллектуального труда и поддержки принятия решений оптимизационных задач.

Разработаны структурная схема программного комплекса в виде *web*-приложения и программные модули по выбору технологий и технических средств, имеющих общую базу данных и объединенный общий интерфейс. Разработанные программные компоненты в дальнейшем войдут в программный комплекс, который может использоваться при производстве продукции растениеводства в качестве системы поддержки принятия решений.

Таблица 2					Table 2				
ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ / EXAMPLE OF FORMING A TECHNOLOGICAL MAP									
Технологическая операция, га ² / Process operation Объем работ/ Work load, sq. ha	Сроки Time lines	Количество дней / Days	Состав агрегата Machine-tractor unit	Количество агрегатов Unit count	Затраты, руб./ Costs, RUR				
					Заработная плата Salary	ГСМ Fuel and lubricants	ТО и ремонт Maintenance and repair	Амортизация Depreciation	Всего Overall
Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm									
800	06.05.2022 15.05.2022	10	JD 8335R Kverland RM100 8	3	150960	2046,528	960,3422	63082,36	217049,2
Культивация / Cultivation									
800	16.05.2022 25.05.2022	10	JD 9470R Carrier 1225	1	10368	60,18	121,7628	11043,98	21593,92
Посев яровых ранних / Spring sowing early									
800	16.05.2022 25.05.2022	10	JD 9470R Rapid-800	1	32960	80,58	182,5201	16322,47	49545,57
Гербицидная обработка / Herbicidal treatment									
800	26.05.2022 05.06.2022	11	JD 4730	1	9856	11,22	326,6704	48020	58213,89
Опрыскивание инсектицидами / Insecticide spraying									
800	06.06.2022 15.06.2022	10	JD 4730	1	9856	11,22	326,6704	48020	58213,89
Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning									
80	01.09.2022 15.09.2022	15	Acros-595 Plus	1	2496	47,124	96,6674	14016,67	16656,46
Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combing with straw heaping									
800	01.09.2022 15.09.2022	15	JD W650 JD 625D	1	24960	107,1	188,0387	28102,56	53357,7

Программный комплекс позволит автоматизировать процесс подбора технологий, формирования годового плана работ, расчет экономических показателей, а также проанализировать варианты тех-

нологий и технических средств, что даст возможность агроному как специалисту, принимающему управленческие решения, выбрать тот или иной вариант.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rose D.Ch., Wheeler R., Winter M., et al. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*. 2021. N100. 104933. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.
2. Sharma R., Parhi S., Shishodia A. Industry 4.0 Applications in Agriculture: Cyber-Physical Agricultural Systems (CPASs). *Advances in Mechanical Engineering. Select Proceedings of ICAME* 2020. 2020. 807-813. DOI: 10.1007/978-981-15-3639-7_97.
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. N16(2). 177-180. DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.006.
4. Phillips P.W.B., Relf-Eckstein J.A., Jobe G., Wixted B. Configuring the new digital landscape in Western Canadian agriculture. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. N90. 100295. DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.001.
5. Кирюшин В.И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. N33(3). С. 5-10. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10301.
6. Talaviya T., Shah D., Patel N., et al. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. N4. 58-73. DOI: 10.1016/j.aiaa.2020.04.002.
7. Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. и др. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России // *Вестник Российской академии наук*. 2021. N91(8). С. 755-768. DOI: 10.31857/S0869587321080090.
8. Riksen V., Maksimovich K., Kizimova T., et al. Elements of the decision support system in the agricultural production processes. *Agriculture Digitalization and Organic Production*. 2022. N331. 389-398. DOI: 10.1007/978-981-19-7780-0_34.
9. Gosrev A.V., Pykhtin A.I., Semenova L. 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. N18(2). 216-221. DOI: 10.5937/jaes18-26312.
10. Коновалова Л.К., Окорков В.В. Совершенствование классификации агротехнологий (структурно-модульный подход) // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2019. N3(59). С. 101-112.
11. Пустовалова К.А. Формирование машинно-тракторного парка в региональном АПК // *Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследования*. 2017. N28. С. 172-176. EDN: ZTTZLP.
12. Гаджиев П.И., Кулаков К.В., Рамазанова Г.Г. и др. Математическая модель формирования рационального парка машин для сельскохозяйственных работ // *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2022. N41(46). С. 99-103. EDN: ALNPMC.
13. Катаев Ю.В., Малыха Е.Ф. Экономическое обоснование оптимального состава машинно-тракторного парка в сельскохозяйственном производстве // *Наука без границ*. 2020. N11 (51). С. 35-41. EDN: BXSWOZ.
14. Коковихин С.В., Биднина И.А., Шарий В.А. и др. Оптимизация агротехнологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях с использованием информационных технологий // *Почвоведение и агрохимия*. 2020. N2(65). С. 63-71. EDN: UKVMP.
15. Kulmatova S., Khatamov O., Yusupova D. Issues of digitalization of machine and tractor fleets in agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. N401. 04047. DOI: 10.1051/e3sconf/202340104047.
16. Альт В.В., Балущкина Е.А., Исакова С.П. Математическая модель по выбору технологий возделывания зерновых культур // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. N50(2). С. 92-99. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-11.
17. Yarovskaya M.V. Revisiting computer modeling. *Advanced Engineering Research*. 2020. N20(3). 332-345. DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-332-345.

REFERENCES

1. Rose D.C., Wheeler R., Winter M., et al. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*. 2021. N100. 104933 (In English). DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.
2. Sharma R., Parhi Sh., Shishodia A. Industry 4.0 Applications in agriculture: cyber-physical agricultural systems (CPASs). *Advances in Mechanical Engineering. Select Proceedings of ICAME* 2020. 2020. 807-813 (In English). DOI: 10.1007/978-981-15-3639-7_97.
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. N16(2). 177-180 (In English). DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.006.
4. Phillips P.W.B., Relf-Eckstein J.-A., Jobe G., Wixted B. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. N90. 100295 (In English). DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.001.

5. Kiryushin V.I. Nauchno-innovatsionnoe obespechenie prioritetov razvitiya sel'skogo khozyaistva [Scientific and innovative support of priorities of agricultural development]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019. N33(3). 5-10 (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10301.
6. Talaviya T., Shah D., Patel N., et al. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. N4. 58-73 (In English). DOI: 10.1016/j.aiaa.2020.04.002.
7. Yakushev V.P., Yakushev V.V., Blokhina S.Yu., et al. Informatsionnoe obespechenie sovremennykh sistem zemledeliya v Rossii [Information support of modern farming systems in Russia]. *Vestnik Rossiiskoy akademii nauk*. 2021. N91(8). 755-768 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869587321080090.
8. Riksen V., Maksimovich K., Kizimova T., et al. Elements of the decision support system in the agricultural production processes. *Agriculture Digitalization and Organic Production*. 2022. N331. 389-398 (In English). DOI: 10.1007/978-981-19-7780-0_34.
9. Gostev A.V., Pykhtin A.I., Semenova L. 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. N18(2). 216-221 (In English). DOI: 10.5937/jaes18-26312.
10. Konovalova L.K., Okorkov V.V. Sovershenstvovanie klassifikatsii agrotekhnologii (strukturno-modul'nyy podkhod) [Development of classification of agrotechnologies (structural and modular approach)]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*. 2019. N3(59). 101-112 (In Russian).
11. Pustovalova K.A. Formirovaniye mashinno-traktornogo parka v regional'nom APK [Establishing a machine and tractor fleet in the regional agro-industrial complex]. *Novoe slovo v nauke i praktike: gipotezy i aprobsiya rezul'tatov issledovaniya*. 2017. N28. 172-176 (In Russian). EDN: ZTTZLP.
12. Gadzhiev P.I., Kulakov K.V., Ramazanov G.G., et al. Matematicheskaya model' formirovaniya ratsional'nogo parka mashin dlya sel'skokhozyaistvennykh rabot [Mathematical model of the formation of a rational fleet of machines for agricultural work]. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*. 2022. N41(46). 99-103 (In Russian). EDN: ALNPMC.
13. Kataev Yu.V., Malykha E.F. Ekonomicheskoe obosnovanie optimal'nogo sostava mashinno-traktornogo parka v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve [Economic justification of the optimal composition of the machine and tractor fleet in agricultural production]. *Nauka bez granits*. 2020. N11(51). 35-41 (In Russian). EDN: BXSWOZ.
14. Kokovikhin S.V., Bedina I.A., Shariy V.A., et al. Optimizatsiya agrotekhnologicheskogo protsessa vozdevlyaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na oroshaemykh zemlyakh s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy [Agrophysical optimization of agrotechnological process of cultivation of agricultural crops on irrigated lands using GIS-technologies]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2020. N2(65). 63-71 (In Russian). EDN: UKVMTP.
15. Kulmatova S., Khatamov O., Yusupova D. Issues of digitalization of machine and tractor fleets in agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. N401. 04047 (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202340104047.
16. Al't V.V., Balushkina E.A., Isakova S.P. Matematicheskaya model' po vyboru tekhnologii vozdevlyaniya zernovykh kul'tur [Mathematical model for choosing grain crops cultivation technologies]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaistvennoy nauki*. 2020. N50(2). 92-99. (In Russian). DOI: 10.268-98/0370-8799-2020-2-11.
17. Yarovskaya M.V. Revisiting computer modeling. *Advanced Engineering Research*. 2020. N20(3). 332-345 (In English). DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-332-345.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Алт В.В. – научное руководство, обоснование актуальности исследования, постановка проблемы, формулирование основных направлений исследований, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования;

Исакова С.П. – литературный анализ, разработка структурной схемы программного комплекса, алгоритмов программных модулей, разработка программного кода ПО, визуализация интерфейса программных модулей, обработка результатов исследований, формирование общих выводов, подготовка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Alt V.V. – scientific guidance, substantiation of the research relevance, problem statement, formulation of the research main directions, manuscript proofreading;

Isakova S.P. – literature review, development of the structural scheme for a software package, and algorithms for software modules, development of software code, visualization of the interface for software modules, research results processing, formation of general conclusions, manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

05.10.2023

27.11.2023