

Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий

Виктор Валентинович Альт^{1,2},
доктор технических наук, профессор,
академик РАН, e-mail: altviktor@ngs.ru;

Светлана Павловна Исакова¹,
старший научный сотрудник,
e-mail: isakova.s.p@yandex.ru

¹Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, г. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация;

²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

Реферат. Показали, что сельскохозяйственное производство связано с территориальной распределенностью, многовариантностью агротехнологий, изменчивостью климатических условий, большими объемами разнообразной информации, сложными алгоритмами принятия стратегических и тактических решений. Отметили, что решение задачи по планированию производства заключается в систематизации и структурировании информации о технологических операциях, определении признаков и формировании параметров для выбора (корректировки) технологии, в моделировании сельскохозяйственного технологического процесса, создании автоматизированного информационного сопровождения. Подчеркнули актуальность привлечения современной компьютерной техники и передовых цифровых технологий ввода и обработки больших объемов информации, визуализации результатов. (*Цель исследования*) Разработать программно-технологическое обеспечение, позволяющее подобрать варианты технологий, адаптированных к условиям конкретного хозяйства. (*Материалы и методы*) Программное обеспечение тестировали на примере южно-таежно-лесной зоны Новосибирской области. Изучили процесс выбора технологий, рассмотрели совокупность технологий обработки почв при возделывании зерновых культур, обеспечивающих минимизацию воздействия на урожай лимитирующих факторов. По результатам оценки выделили постоянные и переменные факторы. Использовали информационные и аналитические методы анализа материалов, системный подход, методологии разработки программного обеспечения. (*Результаты и обсуждение*) С помощью программного модуля сформировали два варианта технологий, адаптированных к природным и производственным условиям хозяйства. В качестве исходного материала для подбора вариантов приняли регистры технологических операций и условия применения. (*Выводы*) Разработали программный модуль, который позволяет подобрать агротехнологии на основе тщательного учета и оперативной обработки информации, характеризующей конкретные условия хозяйства, что дает возможность повысить эффективность управления производством продукции растениеводства и конкурентоспособность сельхозпредприятия.

Ключевые слова: цифровизация, планирование работ, выбор технологий, программный комплекс, адаптированные технологии, природные и производственные условия хозяйства.

■ **Для цитирования:** Альт В.В., Исакова С.П. Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №3. С. 12-19. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19. EDN FOPWFU.

Planning Crop Production with the Use of Digital Technologies

Viktor V. Alt^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the Russian Academy
of Sciences, e-mail: altviktor@ngs.ru;

Svetlana P. Isakova¹,
senior researcher,
e-mail: isakova.s.p@yandex.ru

¹Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation;

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. Agricultural production is shown to be associated with land distribution, variety of agricultural technologies, climatic variability, information diversity, complex algorithms for strategic and tactical decision making. It was noted that the solution to the problem of production planning implies systematizing and structuring the information about technological operations,

identifying features and working out parameters for technology selection (adjustment), modeling the agricultural technological process, and the creation of automated information support. The emphasis is placed on the relevance of using modern computers and advanced digital technologies for entering and processing large amounts of information, and visualization of results. (*Research purpose*) To develop software and technological support enabling the selection of options for technologies adjusted to a particular farm conditions. (*Materials and methods*) The software was tested in a case of the southern taiga-forest zone of the Novosibirsk region. The process of choosing technologies was studied when cultivating grain crops. A complex of tillage technologies was considered for grain crop cultivation, which ensures minimizing the impact of limiting factors on the yield. Based on the assessment results, invariable and variable factors were identified. The methods used are as follows: information and analytical analysis of materials, a systematic approach, and software development methodologies. (*Results and discussion*) With the help of the software module, technology options were developed being adjusted to the natural and production conditions of the economy. Registers for technological operations and application conditions were taken as the source material for the formation of options. Two options for selecting technologies were obtained. (*Conclusions*) As a result, a software module was developed enabling the selection of agricultural technologies based on the thorough accounting and operational processing of information that is used to characterizing the specific conditions of the economy, which makes it possible to increase the efficiency of crop production management and the competitiveness of an agricultural enterprise.

Keywords: digitalization, work planning, technology selection, software package, adapted technologies, natural and production conditions of the economy.

■ For citation: Alt V.V., Isakova S.P. Planirovanie proizvodstva produktsii rastenievodstva s primeneniem tsifrovyykh tekhnologiy [Planning crop production with the use of digital technologies]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N3. 12-19 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19. EDN FOPWFU.

Эффективность и конкурентоспособность производства продукции растениеводства в большинстве случаев зависит от своевременных действий аграриев, выявления состояния почвы, соблюдения научно обоснованной структуры посевных площадей, внесения достаточного количества удобрений, правильно организованной защиты растений, адаптации технологий выращивания сельхозкультур к погодным условиям, грамотного формирования и обеспечения работоспособности машинно-тракторного парка и т.д. [1]. Специфика сельскохозяйственного производства связана с рядом факторов: территориальной распределенностью, многовариантностью агротехнологий, изменчивостью климатических условий, большими объемами разнообразной информации, сложными алгоритмами принятия стратегических и тактических решений [2, 3]. С появлением новых тенденций по накоплению, сбору и обработке данных немаловажную роль играют инновационные и цифровые технологии [4-7]. Их внедрение позволяет повысить эффективность функционирования различных сфер деятельности, снизить производственные затраты, устранить ручной труд, сберечь ресурсы благодаря принятию результативных управленческих решений [8-13].

Новосибирская область – один из наиболее крупных сельскохозяйственных регионов в Западной Сибири. Общая площадь составляет 17,776 млн га, при этом на долю сельскохозяйственных угодий приходится почти 7,6 млн га. Общая сельскохозяйственная освоенность земель достигает 48%, в целом по Западной Сибири – 33% [14]. По данным Федеральной службы государственной статистики за 2021 г., общая пло-

щадь посевных угодий в хозяйствах всех категорий – 2 320,5 тыс. га, в том числе 1 505,13 тыс. га под зерновыми и зернобобовыми культурами. По валовому сбору зерна в хозяйствах всех категорий Новосибирская область занимает третье место в Сибирском федеральном округе, после Алтайского края и Омской области. По данным Министерства сельского хозяйства Новосибирской области, в 2021 г. обмолочено 3 477,3 тыс. га зерновых и зернобобовых культур при средней урожайности 2,33 т/га.

Территория области расположена в зоне рискованного земледелия. На сельхозпроизводство влияют географическое расположение, природные условия, почвенно-ландшафтные особенности: болотные массивы с прохладным и переувлажненным микроклиматом на севере, степи с сухим и засушливым климатом на юге области, засоленность почвенного покрова в отдельных зонах. Положение усугубляет низкая интенсивность производства. Для стабильной урожайности сельскохозяйственных культур необходимо внедрение инновационной техники и технологий [14].

Применение определенной технологии, последовательность выполнения различных технологических операций и их сроки во многом определяются агроклиматическими условиями и биологическими требованиями культур. Так, нарушение сроков посева, уборки, засоренность посевов, повреждение от болезней и вредителей приводят к значительному недобору урожая и повышению затрат [15-17]. Применение научно обоснованных технологий возделывания культур позволит существенно снизить влияние внешних факторов, риски падения урожайности.

Выполнение каждой технологической операции и всего цикла возделывания зерновой культуры в целом сопровождается большими объемами информации. Ее надо получить, передать, обработать, чтобы оперативно внести корректировку в агротехнологии. Возникает необходимость автоматизации процесса принятия решений по выбору технологии и техническому оснащению машинами. Для этого требуются:

- систематизация и структурирование всего массива информации, сопровождающего каждую технологическую операцию;
- определение информативных признаков и формирова-

ние обоснованного набора значимых параметров для выбора (корректировки) технологии, моделирования сельскохозяйственного технологического процесса:

- создание автоматизированного информационного сопровождения.

И здесь не обойтись без современной компьютерной техники и передовых цифровых технологий ввода и обработки больших объемов информации, визуализации результатов.

Цель исследования – разработка программно-технологического обеспечения, позволяющего подобрать

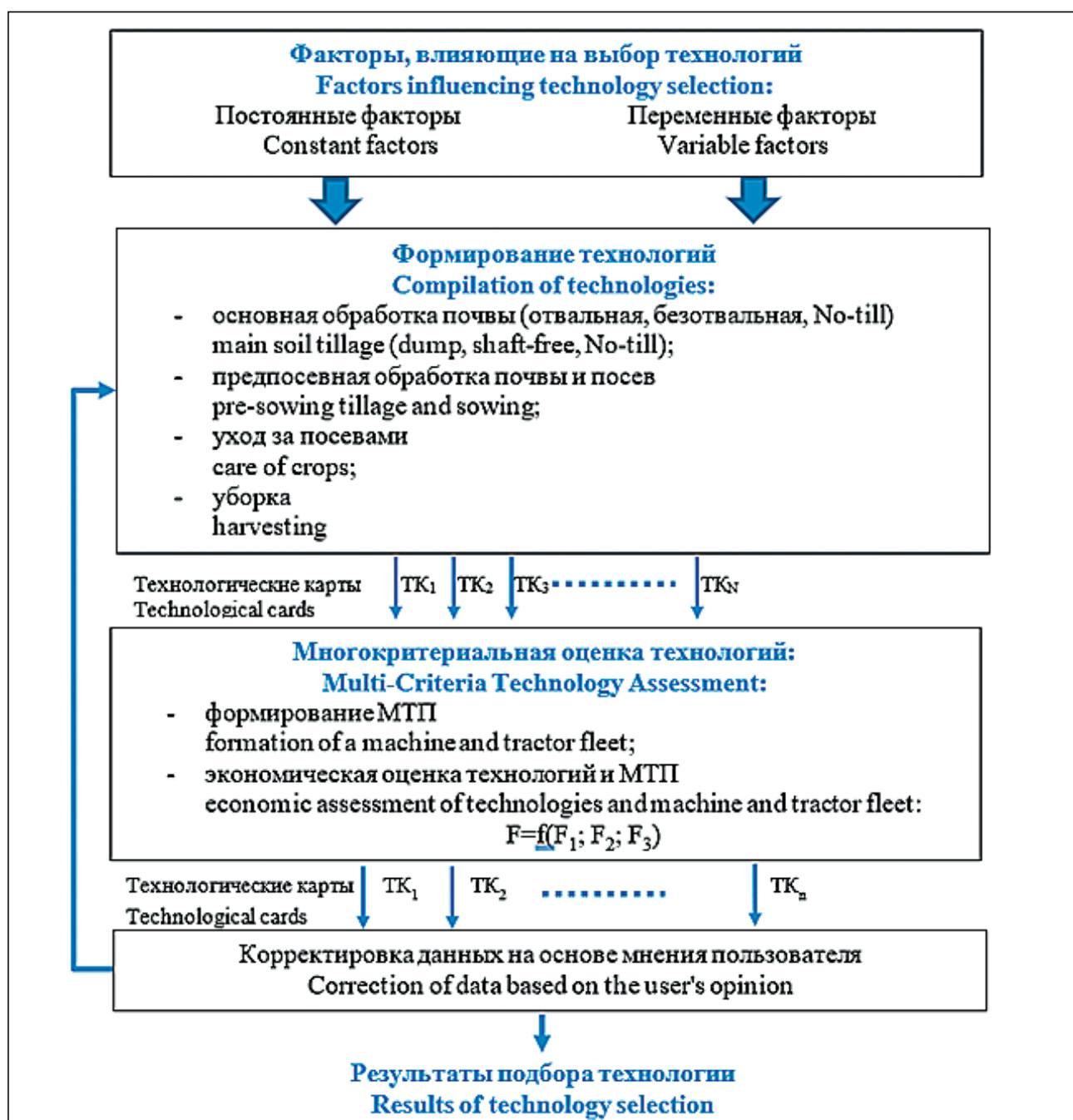


Рис. 1. Обобщенная структурная схема процесса выбора технологий и технических средств
Fig.1. Generalized block diagram showing the process of selecting technologies and technical means

варианты технологий, адаптированных к природно-климатическим и производственным условиям конкретного хозяйства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводили в 2018-2021 гг. в рамках темы НИР 0533-2021-0007 «Разработать программно-технологическое обеспечение сопровождения машинных технологий».

В качестве лимитирующих факторов развития зернового производства могут быть выделены:

- увлажнение и сумма температур в вегетационный период;
- безморозный период;
- повреждение посевов от болезней и вредителей и т.д.

В процессе исследования мы рассматривали технологии основной обработки почв при возделывании зерновых культур, обеспечивающие минимальное воздействие на урожай лимитирующих факторов.

Объектом исследования стал процесс выбора технологий при возделывании зерновых культур, который может быть представлен в виде укрупненной структурной схемы (рис. 1).

По результатам оценки факторов, влияющих на выбор технологии, выделены постоянные и переменные факторы. К постоянным факторам относятся:

- агроклиматическая зона расположения хозяйства;
- его производственная направленность;
- конфигурация полей и их площади;
- состав машинно-тракторного парка (МТП);
- культуры;
- севооборот и др.

Среди переменных факторов учтены:

- агроклиматические характеристики зоны (сумма осадков, температуру);
- сорта культур;
- необходимость применения средств защиты и удобрений и др. [18].

При проведении исследований использовали информационные и аналитические методы анализа материалов, системный подход, методологию разработки ПО. Для обоснования алгоритмов ПО по выбору технологий провели анализ материалов патентно-информационного поиска научной литературы и имеющихся технологических решений. Входные параметры для ПО, влияющие на решение проблемы, определены на предыдущих этапах НИР [19-21]. На основе этих данных сформированы дополнительные ограничения, влияющие на выбор агротехнологии:

- почвенно-климатические условия;
- фитосанитарная обстановка;
- севооборот;
- наличие семян.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Разрабатываемый программный продукт предполагает работу с большими объемами данных, которые для удобства оперирования ими, их структурирования и хранения размещаются в базе данных (БД). Для использования разра-

ботки на различных цифровых устройствах (мобильные устройства, персональные компьютеры) выбран формат *web*-приложения, интерфейс которого одинаково доступен для любого устройства. Программный продукт будет состоять из нескольких программных компонентов, которые представляют собой отдельные программные модули с четким назначением и собственным интерфейсом (принцип модульности):

- разграничение доступа;
- подбор технологий;
- подбор техники;
- редактор БД;
- отчеты (рис. 2).

Для подбора технологий возделывания зерновых культур пользователю (агроному) необходимо ввести следующие исходные данные:

- агроклиматическая зона расположения хозяйства;
- количество рабочих участков с указанием: номера, ширины, длины, общей площади, угла наклона, доли древесно-кустарниковой растительности, удаленности от хозяйства и агроэкологического типа земель;
- год получения урожая;
- информация по рабочим участкам о наличии сорняков, болезней и вредителей;
- предшественник по каждому рабочему участку;
- сорта возделываемых культур.

Информацию об агроклиматической зоне, о количестве рабочих участков и агроэкологическом типе земель пользователь вводит однократно при первом входе. Информацию о годе получения урожая, планируемых для высевы сортах на данный год и предшественниках вносят каждый раз при работе с разделом.

Затем дополняют сведения о рабочих участках: год урожая; возделываемые культуры; предшественник; данные о сорняках, болезнях и вредителях.

В результате работы программного модуля формируются варианты технологий, адаптированных к природным (аэроландшафтный район, агроэкологическая группа земель) и производственным условиям (культура, предшественник в севообороте, уровень интенсификации) хозяйства (таблица). В качестве исходного материала для формирования вариантов администратор вносит в БД регистры технологических операций и условия их применения.

В каждом из результатов подбора технологий для отдельной технологической карты предусмотрен вывод дополнительной информации о ее применении и технологических средствах для ее выполнения. По каждому варианту подбора технологий выводится список основных технологических операций для доминирующего типа агроэкологической группы земель в наиболее типичных условиях (погода, плотность почвы, засоренность предшественника и др.).

Работу ПО тестировали на примере южно-таежно-лесной зоны Новосибирской области. Рассмотр-

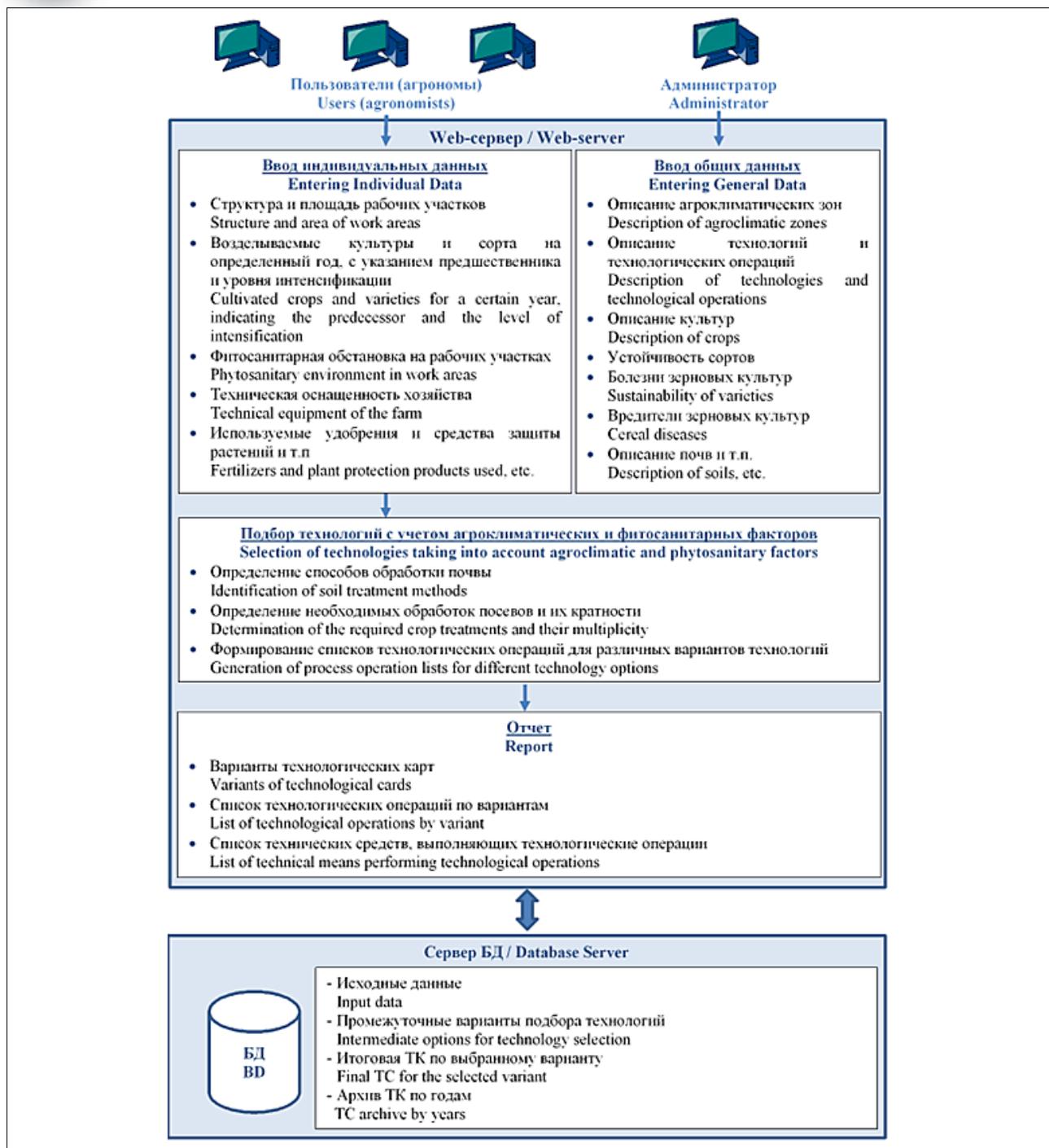


Рис. 2. Схема программного модуля по выбору технологий
Fig.2. Scheme of the software module for technology selection

ли технологии возделывания яровой пшеницы. По результатам работы программного модуля получены два варианта технологий: классическая технология с нормальным уровнем интенсификации и *No-till* – с высоким уровнем интенсификации (*таблица*). Формирование вариантов технологий осуществляется на основе экспертной оценки.

Выводы. Разработанный программный модуль позволяет подобрать агротехнологии на основе тщательного учета и оперативной обработки информа-

ции, характеризующей объективно существующее большое разнообразие факторов, условий и особенностей производства, вследствие чего повысить эффективность управления производством продукции растениеводства и конкурентоспособность сельхозпредприятия.

На следующих этапах исследования в данной области для выбранных вариантов подбора технологий будет рассчитан состав МТП, выполнены расчеты экономических показателей и сформированы технологические карты.

Разработанный программный модуль войдет в состав программного комплекса «СТАМАТ».

Варианты технологий Technology options	Описание технологии Technology Description
РЕЗУЛЬТАТ ПОДБОРА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИЛОЖЕНИЕМ / THE RESULT OF TECHNOLOGY SELECTION OPTIONS BY THE APPLICATION	
<i>2022 / Нормальный / Пшеница / Пар*</i> <i>2022 / Normal / Wheat / Fallow*</i>	
Яровая пшеница по пару Spring wheat by fallow	<ul style="list-style-type: none"> • Внесение органических удобрений (навоз, перегной)/ Application of organic fertilizers (manure, humus) • Вспашка на глубину 18-20 см/ Plowing to 18-20 cm depth • Боронование зубowymi боролами пара и зяби/ Spike-toothed harrowing of fallow and ploughland • Культивация/ Cultivation • Воздушно-тепловой обогрев семян/ Air-thermal heating of seeds • Протравливание семян зерновых сортов против возбудителей болезней/ Grain seed treatment against pathogens • Планировка почвы/ Soil leveling • Посев. Сроки посева яровых культур – ранний/ Sowing. Sowing dates for spring crops – early • Рядковое внесение гранулированных удобрений при посеве/ Row application of granular fertilizers during sowing • Прикатывание кольчато-шпоровыми средними катками/ Rolling with ring-spur medium rollers • Боронование зубowymi боролами посевов**/ Spike-toothed harrowing of crops** • Обкос полей и разбивка загонов/ Field mowing and laying out paddocks • Прямое комбайнирование с копнением соломы или измельчением и разбрасыванием/ Combine harvesting with straw collecting or chopping and spreading • Транспортировка зерна от комбайна/ Grain transportation of from the combine • Сволокивание соломы при копнении или скирдование при копнении соломы/ Straw dragging or straw stacking when collecting it • Скирдование соломы/ Straw stacking
<i>2022 / Интенсивный / Пшеница / Зерновые, зернобобовые*</i> <i>2022 / Intensive / Wheat / Grain, legumes*</i>	
Яровая пшеница по зерновым Spring wheat by grain	<ul style="list-style-type: none"> • Нулевая обработка (оставление стерни без осенней обработки)/ Zero tillage (leaving the stubble without autumn tillage) • Аспирация пыли и калибровка семян/ Dust aspiration and seed calibration • Воздушно-тепловой обогрев семян/ Air-thermal heating of seeds • Протравливание семян зерновых сортов против возбудителей болезней/ Grain seed treatment against pathogens • Боронование игольчатыми боролами пара и зяби/ Spike-toothed harrowing of fallow and ploughland • Планировка почвы/ Soil leveling • Посев. Сроки посева яровых культур – ранний/ Sowing. Sowing dates for spring crops - early • Рядковое внесение гранулированных удобрений при посеве/ Row application of granular fertilizers during sowing • Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур/ Insecticides spraying against pests of grain generative organs • Опрыскивание фунгицидами зерновых культур/ Fungicide spraying of crops • Сеникация**/ Senication** • Обкос полей и разбивка загонов/ Field mowing and laying out paddocks • Прямое комбайнирование с копнением соломы или измельчением и разбрасыванием/ Combine harvesting with straw collecting or chopping and spreading • Транспортировка зерна от комбайна/ Grain transportation from the combine • Сволокивание соломы/ Straw dragging • Скирдование соломы/ Straw stacking
<p><i>*Наименование технологических карт в формате Год/ Уровень интенсификации Культура/ Предшественник</i> <i>*Labeling the technological maps in the format Year/ Intensification level/ Crop/ Predecessor</i> <i>**Технологические операции для остальных типов земель и возможных условий в связи с временной изменчивостью климата</i> <i>**Technological operations for other land types and possible conditions due to temporal climate variability</i></p>	

Реализация программного комплекса позволит автоматизировать процесс формирования годового планирования работ, расчет экономических показателей. Программный комплекс может использоваться при

производстве продукции растениеводства в системах поддержки принятия решений, построенных на базе цифровых технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. N2(65). С. 63-71.
2. Gostev A.V., Pykhtin A.I., Tarasov S. An approach to automation of a rational choice of adaptive agricultural technologies. *BIO Web of Conferences* (FIES 2019). 2020. 00002.
3. Garbelini L.G., Debiassi H., Junior A.A.B., Franchini J.C., Coelho A.E., Telles T.S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production sys-

- tems. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 137. 126528.
4. Болдарева Ю.О., Назарова А.В. Перспективы цифровизации сельского хозяйства России // *Управление в экономических и социальных системах*. 2020. N2(4). С. 14-18.
 5. 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. N2(31). С. 41-52.
 6. Zscheischler J., Brunsch R., Rogga S., Scholz R.W. Perceived risks and vulnerabilities of employing digitalization and digital data in agriculture – Socially robust orientations from a transdisciplinary process. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 358. 132034.
 7. 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. 104933.
 8. Romanova Ju.A., Morkovkin D.E., Romanova I.N., Artamonova K.A., Gibadullin A.A. Formation of a digital agricultural development system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. N548. 032014.
 9. Варич М.И., Давлетшин Р.Р. Цифровизация сельского хозяйства в рамках проекта развития сельского хозяйства в Российской Федерации до 2025 года // *Молодой ученый*. 2020. N2(292). С. 354-357.
 10. Davnis V.V., Tinyakova V.I., Blinov A.O. Volodin Yu.V. Combined Modeling of Projected Evaluation of the Regional Socio-economic Development. *International Journal of Economics & Business Administration (IJEBA)*. 2019. N10. 348-354.
 11. 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.
 12. Gurfova S.A. Digitalization of agriculture: formation and development // *Экономика и предпринимательство*. 2020. N3(116). С. 445-448.
 13. 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. N5(128). 144-155.
 14. Каличкин В.К. Системы земледелия и агротехнологии в Новосибирской области: руководство. Новосибирск: СФНЦА РАН. 2016. 232 с.
 15. Беляев В.И., Силантьева М.М., Никулин А.М., Бондарович А.А. Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования: коллективная монография. Барнаул: Алтайский государственный университет. 2021. С. 455-472.
 16. Санин С.С., Ибрагимов Т.З., Стрижекозин Ю.А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней // *Защита и карантин растений*. 2018. N1. С. 11-15.
 17. Суллиева С.Х. Зокиров К.Г. Структура урожайности озимой пшеницы при применении гербицидов против сорняков // *Экономика и социум*. 2020. N9(76). С. 323-326.
 18. Альт В.В., Исакова С.П., Лапченко Е.А., Елкин О.В. Структурная схема по выбору технологий и технических средств в растениеводстве // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Т. 49. N3. С. 87-93.
 19. 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. N4. С. 93-100.
 20. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
 21. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 16-21.

REFERENCES

1. Kokovikhin S.V., Bidnina I.A., Shariy V.A., Chervan' A.N., Drobit'ko A.V. Optimizatsiya agrotekhnologicheskogo protsessa vozdeyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na oroshaemykh zemlyakh s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy [Agrophysical properties soil data in formation of soil-protection land management systems using GIS-technologies]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2020. N2(65). 63-71 (In Russian).
2. Gostev A.V., Pykhtin A.I., Tarasov S. An approach to automation of a rational choice of adaptive agricultural technologies. *BIO Web of Conferences (FIES 2019)*. 2020. 00002 (In English).
3. Garbelini L.G., Debiassi H., Junior A.A.B., Franchini J.C., Coelho A.E., Telles T.S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 137. 126528 (In English).
4. Boldareva Yu.O., Nazarova A.V. Perspektivy tsifrovizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii [Prospects for digitalization of agriculture of Russia]. *Upravlenie v ekonomicheskikh i sotsial'nykh sistemakh*. 2020. N2(4). 14-18 (In Russian).
5. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Dorokhov A.A. Tsifrovoe sel'skoe khozyaystvo (obzor tsifrovyykh tekhnologiy sel'khozna znacheniya) [Digital agriculture (review of agricultural digital technologies)]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N2(31). 41-52 (In Russian).
6. Zscheischler J., Brunsch R., Rogga S., Scholz R.W. Perceived risks and vulnerabilities of employing digitalization and digital data in agriculture – Socially robust orientations from a transdisciplinary process. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 358. 132034 (In English).
7. 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. 104933 (In English).
8. Romanova Ju.A., Morkovkin D.E., Romanova I.N., Artamonova K.A., Gibadullin A.A. Formation of a digital agricultural development system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. N548. 032014 (In English).
 9. Varich M.I., Davletshin R.R. Tsifrovizatsiya sel'skogo khozyaystva v ramkakh proekta razvitiya sel'skogo khozyaystva v Rossiyskoy Federatsii do 2025 goda [Digitalization of agriculture in the framework of the agricultural development project in Russia until 2025]. *Molodoy uchenyy*. 2020. N2(292). 354-357 (In Russian).
 10. Davnis V.V., Tinyakova V.I., Blinov A.O. Volodin Yu.V. Combined Modeling of Projected Evaluation of the Regional Socio-economic Development. *International Journal of Economics & Business Administration (IJEBA)*. 2019. N10. 348-354 (In English).
 11. 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 (In English).
 12. Gurfova S.A. Digitalization of agriculture: formation and development. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2020. N3(116). 445-448 (In English).
 13. 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. N5(128). 144-155 (In English).
 14. Kalichkin V.K. Sistemy zemledeliya i agrotekhnologii v Novosibirskoy oblasti: rukovodstvo [Farming systems and agrotechnologies in the Novosibirsk region: a guide]. Novosibirsk: SFNCA RAN. 2016. 232 (In Russian).
 15. Belyaev V.I., Silant'eva M.M., Nikulin A.M., Bondarovich A.A. Kulunda: sel'skoe khozyaystvo i nizkoemissionnye tekhnologii ustoychivogo zemlepol'zovaniya: kollektivnaya monografiya [Kulunda: agriculture and low-emission technologies for sustainable land use: collective monograph]. Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy universitet. 2021. 455-472 (In Russian).
 16. Sanin S.S., Ibragimov T.Z., Strizhekozin Yu.A. Metod rascheta poter' urozhaya pshenitsy ot bolezney [Method for calculating wheat yield losses from diseases]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018. N1. 11-15 (In Russian).
 17. Sullieva S.H. Zokirov K.G. Struktura urozhaynosti ozimoy pshenitsy pri primeneni gerbitsidov protiv sornyakov [The structure of winter wheat yield when using herbicides against weeds]. *Ekonomika i sotsium*. 2020. N9(76). 323-326 (In Russian).
 18. Alt V.V., Isakova S.P., Lapchenko E.A., Elkin O.V. Strukturnaya skhema po vyboru tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv v rastenievodstve [Structural scheme for the choice of technologies and technical means in plant growing]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2019. Vol. 49. N3. 87-93 (In Russian).
 19. Alt V.V., Balushkina E.A. Isakova S.P. Algoritm vybora agrotekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv pri proizvodstve produktsii rastenievodstva [Algorithm for choosing agrotechnologies and technical means in the production of crops]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2021. Vol. 51. N4. 93-100 (In Russian).
 20. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
 21. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Tekhnicheskie sistemy tsifrovogo kontrolya kachestva obrabotki pochvy [Technical systems of digital quality control of tillage]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Альт В.В. – замысел исследования, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования;

Исакова С.П. – замысел и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Alt V.V. – the research concept, the final approval of the the article manuscript for publication;

Isakova S.P. – the research concept and design, data collection, analysis and interpretation, the article 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

22.04.2022

09.08.2022