

EDN: EOWTQK

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21



Научная статья

УДК 631.3



Методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства

Антон Михайлович Захаров,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: zamsznii@yandex.ru;
Анатолий Арсеньевич Устрьев,
кандидат технических наук,
ведущий специалист,
e-mail: agrotehinvest@mail.ru;

Евгений Александрович Мурзаев,
научный сотрудник,
e-mail: murzaev.e.a@mail.ru;
Алексей Дмитриевич Комоедов,
младший научный сотрудник,
komoe dov.alexexj@yandex.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, филиал
Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. К основным причинам усиления антропогенного воздействия на окружающую среду относится интенсификация сельскохозяйственного производства, в частности наращивание мощностей на предприятиях, производящих продукцию растениеводства. Одним из подходов митигации экологических рисков является частичный переход к органическим видам хозяйствования. Однако для устойчивого развития органического производства в РФ требуется создать наукоемкую среду для интеграции последних достижений в биологических, инженерных и цифровых науках с целью формирования методов для проектирования технологий органического производства продукции растениеводства. (*Цель исследования*) Теоретические исследования по разработке методов проектирования машинных технологий органического производства продукции растениеводства. (*Материалы и методы*) Проведен анализ разработанных ранее методов проектирования, их преимуществ и недостатков. Основываясь на этом анализе, на наш взгляд, рационально интерпретировать классический метод *Waterfall* – каскадный метод проектирования. (*Результаты и обсуждение*) На начальной стадии реализации каскадной модели разработана блок-схема генерального алгоритма проектирования машинных технологий производства органической продукции растениеводства. На первом этапе генерального алгоритма проводится анализ почвенно-климатических и хозяйственных условий и после их фиксации происходит переход к выбору средств производства (семенной материал, система удобрений и система защиты растений). Выбор осуществляется по критериям экологической безопасности, качеству получаемой продукции, потенциальной урожайности и затратам денежных средств. Следующим этапом алгоритма предусмотрен выбор рациональных вариантов технологических операций и машинно-тракторных агрегатов. Выбор осуществляется согласно разработанному интегральному эколого-экономическому критерию, который представлен в виде суммы совокупных затрат денежных средств на выполнение единицы наработки, экономического убытка от потери питательных элементов из пахотного горизонта и экономического убытка от переуплотнения почвы при выполнении технологических операций. Интегральный эколого-экономический критерий должен стремиться к минимуму для каждой технологической операции. (*Выводы*) Предложенные методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства позволят сформировать цифровую систему базовых технологий и машин и разрабатывать технологические карты по органическому возделыванию культур для конкретных почвенно-климатических и хозяйственных условий.

Ключевые слова: органическое сельское хозяйство, технологии производства продукции растениеводства, методы проектирования.

■ Для цитирования: Захаров А.М., Устрьев А.А., Мурзаев Е.А., Комоедов А.Д. Методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 13-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21. EDN: EOWTQK.

Scientific article

Methods for Designing Technologies of Organic Crop Production

Anton M. Zakharov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: bauermw@mail.ru;

Anatoly A. Ustrov,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: agrotehinvest@mail.ru;

Evgeniy A. Murzaev,
researcher,
e-mail: murzaev.e.a@mail.ru;

Aleksey D. Komoedov,
junior researcher,
komoedov.alexej@yandex.ru

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. One of the primary factors contributing to the increasing anthropogenic impact on the environment is the intensification of agricultural production, particularly the expansion of enterprises engaged in crop production. One of the approaches to mitigating environmental risks is a partial transition to organic farming. However, the sustainable development of organic production in the Russian Federation requires the establishment of a knowledge-intensive environment that integrates the latest advancements in biological, engineering, and digital sciences to develop innovative methods for designing organic crop production technologies. (*Research purpose*) To conduct theoretical studies aimed at developing methods for designing machine technologies applicable to organic crop production. (*Materials and methods*) An analysis of previously developed design methods was conducted to evaluate their advantages and disadvantages. Based on this analysis, the classical *Waterfall* model – a sequential design approach – was identified as a rational choice for interpretation. (*Results and discussion*) At the initial stage of implementing the *Waterfall* model, a block diagram was developed to outline the general algorithm for designing machine technologies applicable in organic crop production. The first phase of this algorithm involves analyzing soil-climatic and economic conditions. Once these conditions are assessed, production resources, such as seed material, fertilizer system, and plant protection system, are selected based on key criteria, including environmental safety, product quality, potential yield, and financial costs. This algorithm then proceeds to the selection of the most efficient technological operations and machine-tractor units. This selection is guided by an integrated eco-economic criterion, formulated as the sum of three components: total financial costs per unit of work, economic losses due to nutrient depletion in the arable layer, and economic losses resulting from soil compaction during technological operations. The integrated eco-economic criterion must be optimized to minimize its value for each technological operation. (*Conclusions*) The developed methods of designing technologies for the organic production of crop make it possible to form a digital system of basic technologies and machines, to develop technological maps for organic cultivation under specific soil, climatic and economic conditions.

Keywords: organic agriculture, crop production technologies, design methods.

■ **For citation:** Zakharov A.M., UstroeV A.A., Murzaev E.A., Komoedov A.D. Methods for designing technologies of organic crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 13-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21. EDN: EOWTQK.

Согласно «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной указом Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145, к наиболее значимым вызовам относится возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан, изменение климата и влияние последствий этого на отрасли экономики, население и окружающую среду.

Одна из основных причин усиления антропогенного воздействия на окружающую среду обусловлена интенсификацией сельскохозяйственного производства, в частности наращиванием мощностей при производстве продукции растениеводства. Контроль, оценка, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия интенсивных машинных технологий, основанные на изучении тенденции развития системы природопользования и перспектив хозяйственного и научно-технического развития общества, в современных условиях становятся приоритетными задачами [1].

Для митигации экологических рисков необходимо сформировать рациональные методы проектирования и управления технологиями производства продукции растениеводства и интегрировать их в новые стратегии ведения сельскохозяйственного бизнеса на основе цифровых технологий [2-4], ориентированные на интенсификацию природных процессов [5] и минимизацию антропогенного следа в природных экосистемах [6, 7].

Одним из подходов для повышения экологизации производства продукции растениеводства служит частичный переход к органическим видам хозяйствования [8, 9], поскольку требования о исключении химических средств заведомо улучшают экологические показатели аграрных систем [10, 11]. Производство органической продукции позволяет решать ряд проблем агропромышленного комплекса (*рис. 1*).

Нормативно-правовая база в области органического производства сельскохозяйственной продукции накладывает ряд запретов на применение агрохимикатов, антибиотиков и стимуляторов роста химического происхождения. Такие ограниче-



Рис. 1. Локальные цели органического производства сельскохозяйственной продукции

Fig. 1. Local goals of organic agricultural production

ния определены Федеральным законом «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 N 280-ФЗ, а также ГОСТ Р 56104-2014 «Продукты пищевые органические. Термины и определения», ГОСТ Р 56508-2015 «Продукция органического производства, Правила производства, хранения, транспортирования», ГОСТ Р 57022-2016 «Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства», ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации».

В связи с этим при реализации подходов к органическому производству возникает ряд проблем по замещению запрещенных средств на разрешенные – биологические.

Распоряжением Правительства РФ № 1788-р от 4.07.2023 принята «Стратегия развития органического производства в Российской Федерации до 2030 года», в которой указаны две глобальные цели внедрения систем органического производства продукции растениеводства:

- снижение антропогенного воздействия на параметры агроэкосистем при возделывании культурных растений [12];
- получение экологически чистых, высококачественных продуктов питания для населения [13].

Для достижения поставленных целей необходима разработка технологий органического производства продукции растениеводства (ОППР) с учетом зональных почвенно-климатических условий [14, 15]. При этом необходимо учитывать специфические требования, изложенные в законодательных документах РФ, регламентирующих правила производства органической сельскохозяйственной продукции.

К этим требованиям относятся:

- обособление площадей, отведенных под производство органической продукции растениеводства, от площадей возделывания культурных растений по прочим технологиям с использованием методов химизации;
- применение только тех химических средств защиты и стимулирования роста и развития растений, которые разрешены при органическом производстве;
- применение только разрешенных при органическом производстве минеральных удобрений;
- исключение перемешивания готовой органической продукции с продукцией, полученной по прочим технологиям с использованием методов химизации;
- запрет на использование при хранении и транспортировке органической продукции упаковки, которая может привести к загрязнению и потере качества.

Помимо ограничений имеется ряд базовых критериев, которым должна удовлетворять любая технология производства продукции растениеводства:

- урожайность;
- качество;
- экономическая эффективность;
- экологическая безопасность;
- фитосанитарная устойчивость;
- адаптивность;
- безопасность;
- доступность.

Таким образом, для проектирования технологий ОППР необходимо провести консолидацию требований к производству органической продукции, регламентированных нормативными документами, и базовых критериев путем интеграции ряда методических и методологических подходов.

Цель исследования. Разработать методы проектирования машинных технологий органического производства продукции растениеводства.

Задачами исследований являются:

- анализ требований к проектированию машинных технологий ОППР;
- обоснование критериев оценки машинных технологий ОППР;
- разработка алгоритмов проектирования машинных технологий ОППР.

Материалы и методы. В связи с поставленными глобальными задачами (снижение антропогенного воздействия на агроэкосистемы и получение экологически чистых, высококачественных продуктов питания) системы органического производства продукции растениеводства рационально представить группами критериев качества и экологической безопасности производства. Также надо отметить, что важными критериями оценки любых машинных

технологий являются урожайность [17] и экономическая эффективность [18, 19, 20], поэтому следует дополнительно использовать их для оценки машинных технологий ОППР [21]. Схема взаимосвязи объектов технологии и групп критериев оценки представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Взаимосвязь объектов технологии и групп критериев оценки

Fig. 2. Interrelation between technology objects and groups of evaluation criteria

В связи с поставленными глобальными задачами (снижение антропогенного воздействия на агроэкосистемы и получение экологически чистых, высококачественных продуктов питания) системы органического производства продукции растениеводства рационально представить группами критериев качества и экологической безопасности производства. Также для оценки машинных технологий органического производства необходимо учитывать критерии урожайности и экономической эффективности (Буланова М.В., Слива И.В., Жуков Ю.П. и др. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. М.: Росинформагротех. 2005. 784 с.), [16-19].

В процессе научных исследований проведен анализ разработанных ранее методов проектирования, таких как *Waterfall*, *Agile*, *Scrum* и др., основных преимуществ и недостатков их научных принципов. Основываясь на этом анализе при проектировании технологий органического производства продукции растениеводства, на наш взгляд, рационально интерпретировать классический метод *Waterfall* – каскадный метод проектирования. В результате исследований разработана каскадная модель проектирования технологий ОППР. Она включает в себя ряд основных стадий с жесткой иерархией, которые необходимо реализовать при проектировании технологий [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На начальной стадии реализации каскадной модели разработана блок-схема генерального алгоритма (ГА) проектирования машинных технологий ОППР, включающего в себя индивидуальные алгоритмы или подалгоритмы

выбора рациональных вариантов объектов технологии и их связи между собой (рис. 3). Все представленные блок-схемы алгоритмов разработаны с учетом ГОСТ 19.701-90 «Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения» в программной среде *MicrosoftVisio*.

При разработке генерального алгоритма использовались две основные алгоритмические конструкции: следования и цикла.

На первом этапе генерального алгоритма необходимо провести анализ соответствия почвенно-климатических и хозяйственных условий (ПКХУ) их зональной базе данных. После их определения и фиксации необходимо произвести ввод данных о требованиях к средствам производства (семенному материалу, применяемой системе удобрений и применяемой системе защиты растений).

Выбор рациональных вариантов средств производства проводится из их баз данных по критериям:

- экологической безопасности ($E_{эко}$), которая включает в себя два критерия: потенциальное количество выбросов парниковых газов (N_2O) и потенциальному количеству выноса биогенных элементов (L_{agr});
- качеству получаемой продукции (K_k), которое включает в себя потенциальные морфологические характеристики товарной продукции и потенциальные химические характеристики товарной продукции (определяются согласно генетическому потенциалу выбранного сорта);
- потенциальной урожайности ($V_{пот}$);
- затрат денежных средств на приобретение ($З_{сеп}$).

В главе 11 Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (2006) представлены уравнения для определения прямых выбросов N_2O из обрабатываемых почв уровня 1:

$$N_2O_{Прям-N} + N_2O-N_{N_{поступл}} + N_2O-N_{OS}, \quad (1)$$

где $N_2O_{Прям-N}$ – годовые прямые выбросы N_2O-N из обрабатываемых почв, кг N_2O /год;

$N_2O-N_{N_{поступл}}$ – годовые прямые выбросы N_2O-N в результате поступлений азота в обрабатываемые почвы, кг N_2O /год; N_2O-N_{OS} – годовые прямые выбросы N_2O-N из обрабатываемых органических почв, кг N_2O /год.

В качестве модели оценки потенциального количества выноса биогенных элементов применяется методика, разработанная специалистами ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Эта методика требует сбора более подробных сведений о сельскохозяйственной деятельности на рассматриваемой территории и зависит прежде всего от содержания и поступления элементов питания в почву.

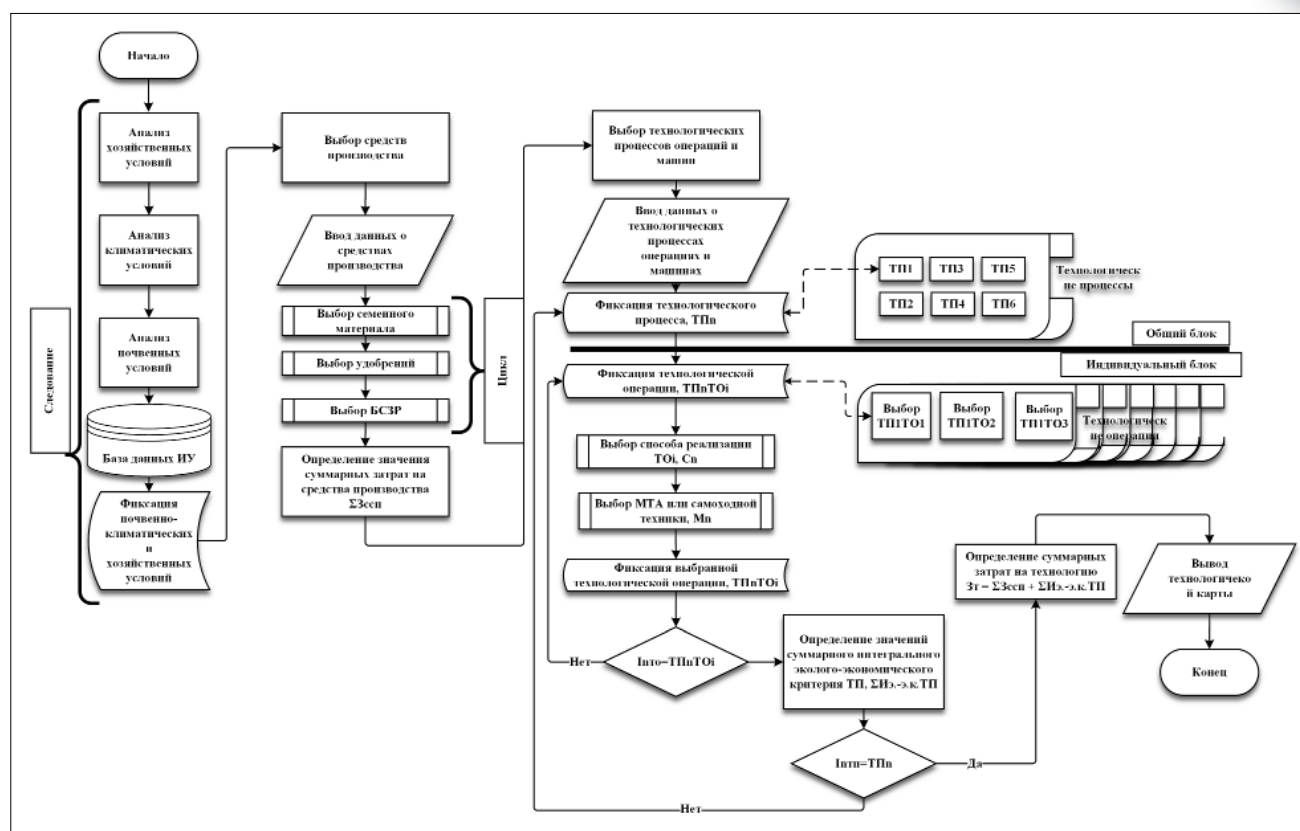


Рис. 3. Блок-схема генерального алгоритма проектирования машинных технологий производства органической продукции растениеводства

Fig. 3. Block diagram of the general algorithm for designing machine technologies in organic crop production

В основе расчета годового выноса биогенных веществ, сформированного на полях сельхозпредприятий L_{agr} (т/год), следующая формула:

$$L_{agr} = 0,001 \sum_i A_i (M_{soil i} K_1 + \alpha_2 M_{org i}) K_2 K_3 K_4 K_5, \quad (2)$$

где $M_{soil i}$ – содержание биогенного вещества в пахотном слое почвы, кг/га; $M_{org i}$ – доза внесения органических удобрений на поля i -го сельхозпредприятия, кг/га; A_i – площадь угодий i -го сельхозпредприятия, (га); α_2 – коэффициент, учитывающий усвоение органических удобрений сельхозкультурами; K_1 – коэффициент, характеризующий вынос биогенных веществ из пахотного слоя почв; K_2 – коэффициент удаленности контура сельскохозяйственных угодий от гидрографической сети; K_3 – коэффициент, характеризующий тип почв (по происхождению); K_4 – коэффициент, характеризующий механический состав почв; K_5 – коэффициент, учитывающий структуру сельхозугодий, т.е. соотношение площадей пашни, многолетних трав, лугов, пастбищ [21].

Потенциальная урожайность $Y_{пот.}$ определяется согласно уравнению:

$$Y_{пот.} = D / (H \cdot K), \quad (3)$$

где D – количество внесенных питательных элементов, кг/га; H – потребление питательных элементов растением, кг/ц; K – коэффициент потребления питательных элементов растением [22].

Суммарные затраты денежных средств

$$\Sigma Z_{ссп} = Z_{см} + Z_d + Z_{бсзр}, \quad (4)$$

где $Z_{см}$ – затраты на семенной материал, руб/т; Z_d – затраты на удобрения, руб/т; $Z_{бсзр}$ – затраты на приобретение биологических средств защиты растений, руб/т.

После расчета суммарных затрат происходит переход к следующей стадии проектирования, а именно, выбору технологических процессов, технологических операций и машинно-тракторных агрегатов.

Согласно ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий» технологический процесс (ТП) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Технологическая операция (ТО) – это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими рабочими.

В связи с вышесказанным, нами предлагается разделить технологию производства продукции растениеводства на шесть технологических процессов:

осенняя подготовка почвы (ТП₁); весенняя подготовка почвы (ТП₂); посев/посадка (ТП₃); уход за посевами/посадками (ТП₄); уборка (ТП₅); хранение и предпродажная подготовка товарной продукции (ТП₆).

Поскольку система технологических процессов представляет собой сложную многопараметрическую систему, для дальнейшего описания ее рационально представить в виде многозвенной информационной модели (рис. 4).

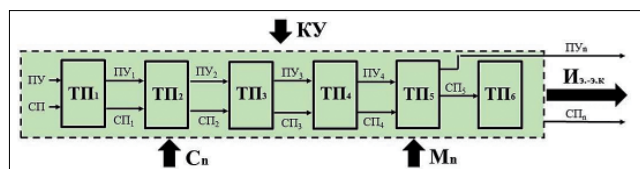


Рис. 4. Многозвенная информационная модель технологических процессов производства органической продукции растениеводства

Fig. 4. Multi-link information model of technological processes in organic crop production

Каждый из представленных технологических процессов подвергает изменению почвенные условия (ПУ) и средства производства (СП) в вероятностно-статистическом смысле. Таким образом, в результате реализации каждого технологического процесса формируются различные ПУ и СП. Например, на входе ТП₁ ПУ₁ и СП₁ имеют вероятностно-статистические характеристики, созданные воздействием ТП₁, а на выходе ТП₂ формируются иные ПУ₂ и СП₂.

Формирование случайных характеристик зависит от применяемых способов (С_н) и машинно-тракторного агрегата или самоходной техники (М_н), а также от неконтролируемых факторов, которые представлены в виде климатических условий (КУ). Все представленные технологические процессы изменяют характеристики ПУ и СП, кроме ТП₆, поскольку при хранении и предреализационной подготовке товарной продукции не происходит воздействие на ПУ. На выходе системы технологических процессов имеется ряд критериев оценки, которые объединены в интегральный эколого-экономический критерий.

Интегральный эколого-экономический критерий определяется по формуле:

$$И_{э-э.к} = (З_{сов.н} + S_{п.б.э.н} + S_{уп.н}), \text{ руб/га}, \quad (5)$$

где $З_{сов.н}$ – совокупные затраты денежных средств на выполнение единицы наработки, руб/га (определяются согласно ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки»); $S_{п.б.э.н}$ – экономический убыток от потери питательных элементов из пахотного горизонта, руб/га; $S_{уп.н}$ – экономический убыток от почвенного переуплотнения, руб/га.

Экономический убыток от потерь питательных элементов из пахотного горизонта $S_{п.б.э.н}$, выраженный через снижение урожая, определяется по формуле:

$$S_{п.б.э.н} = (Y_{рас} - Y_{ф}) C_{ст}, \quad (6)$$

где $Y_{рас}$ – расчетная урожайность, т/га; $Y_{ф}$ – формируемая урожайность с учетом потерь питательных элементов из пахотного горизонта, т/га; $C_{ст}$ – стоимость получаемой продукции, руб/т.

Расчетная урожайность определяется по формуле:

$$Y_{рас} = N_{рас} / (H \cdot K), \quad (7)$$

где $N_{рас}$ – количество питательных элементов в почве (с учетом внесения и исходного количества), кг/га; H – норматив потребления питательных элементов на единицу урожая, кг/т (например, для картофеля равен 5 кг/т); K – коэффициент использования питательных элементов растением.

$$Y_{ф} = \frac{N_{рас} - N_{п} - N_{г} + N_{ос}}{H \cdot K}, \quad (8)$$

где $N_{п}$ – потери азота в следствии его выноса из пахотного горизонта, кг/га; $N_{г}$ – потери азота в следствии его выброса с N_2O , кг/га; $N_{ос}$ – привнесение азота с осадками за исследуемый период, кг/га.

Экономический убыток от почвенного переуплотнения $S_{уп.н}$, выраженный через снижение урожая, определяется по формуле:

$$S_{уп.н} = (Y_{рас} - (Y_{рас} \cdot K_{уп})) \cdot C_{ст}, \quad (9)$$

где $K_{уп}$ – коэффициент, учитывающий потерю урожая по причине почвенного уплотнения, т/га.

После выбора способа реализации технологической операции происходит проверка условия выхода из цикла выбора, а именно соответствие выбранного способа почвенно-климатическим и хозяйственным условиям (ПКХУ). При соответствии вышеперечисленным условиям следующим шагом является определение необходимой производительности агрегата по формуле:

$$W_T = \frac{S_x}{(D_{ATT} \cdot T_{CM}) \cdot T_C} \leq W_{MTA}, \quad (10)$$

где S_x – площадь поля, га; D_{ATT} – количество дней (смен) на технологическую операцию по агротехническим требованиям (ATT); T_{CM} – время смены, ч; T_C – коэффициент использования времени смены.

Далее происходит фиксация данных о выбранном способе и необходимой производительности для дальнейшего выбора МТА.

При выборе способа (С_н) и технического средства (М_н) для выполнения технологических операций (которые составляют технологические процессы) необходимо индивидуально по каждому варианту С_н и М_н определить значение интеграль-

ного эколого-экономического критерия $I_{э-э.к.}$. Поскольку выбор M_n является циклическим, условием выхода из цикла принято: $I_{э-э.к.} \rightarrow \min$. При его соблюдении происходит вторая проверка условия $W_T \leq W_{MTA}$ (W_T – требуемая производительность, W_{MTA} – производительность машино-тракторного агрегата), при его невыполнении происходит возврат к выбору сельхозмашины, а при соответствии – фиксация выбранной технологической операции в технологическом процессе и формируется строчка в технологической карте (ТК).

После выбора способа и МТА необходимо зафиксировать вариант технологической операции ($ТП_n TO_i$) и провести проверку, по всем ли TO_n был проведен выбор, т.е. соблюдается ли условие выхода из цикла выбора TO_i , которым является:

$$I_{nTO} = ТП_n \cdot TO_i, \quad (11)$$

где I_{nTO} – необходимое количество итераций цикла выбора TO_i ; $ТП_n TO_i$ – заложенное количество TO в $ТП$.

Если условие не соблюдается, то происходит возврат к шагу фиксации $ТП_n TO_i$, а если соблюдается, то происходит переход к следующему шагу – определению значений суммарного интегрального эколого-экономического критерия $ТП$ по формуле:

$$\Sigma I_{э-э.к.ТП} = I_{э-э.к.ТО1} + I_{э-э.к.ТО2} + \dots + I_{э-э.к.ТОi}. \quad (12)$$

Также после фиксации $ТП_n TO_i$ необходимо провести проверку, по всем ли $ТП_n$ был проведен выбор, т.е. соблюдается ли условие выхода из цикла выбора $ТП_n$, которым является:

$$I_{nТП} = ТП_n, \quad (13)$$

где $I_{nТП}$ – необходимое количество итераций цикла выбора $ТП_n$.

Завершающим шагом генерального алгоритма является расчет суммарных затрат на технологию по формуле:

$$Z_T = \Sigma Z_{ссп} + \Sigma I_{э-э.к.ТП}. \quad (14)$$

После этого происходит формирование технологической карты возделывания i -той культуры.

Выводы. Для обеспечения устойчивого развития органического производства необходимы научно-обоснованные методы проектирования и управления технологиями органического производства продукции растениеводства (ОППР). На начальной стадии проектирования и управления технологиями ОППР необходимо путем декомпозиционного анализа определить базовые стадии проектирования. Для дальнейшей структуризации рационально воспользоваться методом каскадного моделирования.

Разработан генеральный алгоритм проектирования технологий ОППР, который включает в себя ряд индивидуальных алгоритмов, позволяющих осуществить выбор средств производства, способов реализации технологических процессов (C_n) и средств механизации (M_n) согласно разработанному интегральному эколого-экономическому критерию. Данный критерий представлен в виде суммы совокупных затрат денежных средств на выполнение единицы наработки, экономических убытков от потери питательных элементов из пахотного горизонта и от почвенного переуплотнения. Интегральный эколого-экономический критерий должен стремиться к минимуму для каждой операции.

Алгоритм выбора способа и машинно-тракторного агрегата апробирован на примере технологической операции посадки картофеля в технологии его возделывания. На основании критериев эколого-экономической оценки выбран способ посадки с междурядьем 90 см. При таком способе реализации технологической операции потери азота снижаются на 7% и потенциального урожая. Выбор технического средства основан на разнице эксплуатационных затрат применяемых агрегатов, при таком способе посадки разница составила 5,8%.

Предлагаемые методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства позволят сформировать цифровую систему базовых технологий и машин и разрабатывать технологические карты органического возделывания культур для почвенно-климатических и хозяйственных условий у производителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б. и др. Подходы к освоению органического земледелия // *АгроЭкоИнженерия*. 2020. N4(105). С. 101-113. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10270.
2. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П. и др. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N2(31). С. 41-52. EDN: JNIMAH.
3. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Инженерные методы решения проблем устойчивого развития сельхозпроизводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N4. С. 4-8. EDN: OCPSEB.
4. Минин В.Б., Захаров А.М. Задачи и структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 56-64. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.
5. Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A. et al. Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022. Vol. 60. N4. 372-379. DOI: 10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379.
6. Попов В.Д., Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю. Приори-

- теты экологического развития животноводства России и пути их реализации // *Техника и оборудование для села*. 2020. N12(282). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-12-2-5.
7. Савченко И.В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. N5. С. 527-531. DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531.
 8. Minin V., Ustroeв A., Mbaiholoie E., Subbotin I. Technical provision of organic farming in Russia: problems and prospects. *NJF Report*. 2017. Vol. 13. N1. 133-134. EDN: UQFGVO.
 9. Smith L.G., Williams A.G., Pearce Bruce D. The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015. N30(3). 280-301. DOI: 10.1017/S1742170513000471.
 10. Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2024. N1 (319). С. 2-7. DOI: 10.33267/2072-9642-2024-1-2-7.
 11. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroeв A.A. et al. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2019. 012088. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012088.
 12. Gamage A., Gangahagedara R., Gamage J. et al. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*. Vol. 1. Iss. 1. 2023. 100005. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
 13. Mie A., Andersen H.R., Gunnarsson S. et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017. N16. 11. DOI: 10.1186/s12940-017-0315-4.
 14. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169. DOI: 10.1017/S1742170510000116.
 15. Минин В.Б., Черникова М.В. Оценка эффективности органической технологии возделывания картофеля в условиях Ленинградской области // *АгроЭкоИнженерия*. 2023. N4(117). С. 42-57. DOI: 10.24412/2713-2641-2023-4117-42-57.
 16. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Первущина Н.К. Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля // *Аграрный вестник Урала*. 2021. N4 (207). С. 34-42. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
 17. Утенков Г.Л. К оценке эффективности машинных технологий возделывания зерновых культур // *Фундаментальные исследования*. 2017. N12-1. С. 229-233. EDN: ZXPWDB.
 18. Лойко В.И., Ткаченко В.В., Лытнев Н.Н. Модели и методика оценки технологий сельскохозяйственного производства (на примере растениеводства): программная реализация и основные результаты // *Научный журнал КубГАУ*. 2017. N134(10). С. 1-29. DOI: 10.21515/1990-4665-134-104.
 19. Gunnarsson C., Hansson P.-A. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. *Agricultural Systems*. 2004. N80. 85-103. DOI: 10.1016/j.agry.2003.06.005.
 20. Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Каскадная модель проектирования технологий органического производства продукции растениеводства // *АгроЭкоИнженерия*. 2024. N2(119). С. 29-42. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-29-42.
 21. Задонская О.В., Обломкова Н.С., Брюханов А.Ю. Сравнительный анализ применения различных методов оценки поступления азота и фосфора от сельского хозяйства в бассейне реки Нарвы // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. N1(110). С. 142-155. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-142-154.
 22. Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2014. N3(35). С. 26-36.

REFERENCES

1. Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B. et al. Organic project: early results. *AgroEcoEngineering*. 2020. N4(105). 100-113 (In Russian). DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10270.
2. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P. et al. Digital agriculture (review of agricultural digital technologies). *Agricultural News*. 2019. N2(31). 41-52 (In Russian). EDN: JNIMAH.
3. Popov V.D., Maksimov D.A., Bryuhanov A.Yu. Engineering methods of solving problems of sustainable development of agricultural production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2011. N4. 4-8 (In Russian). EDN: OCPSEB.
4. Minin V.B., Zaharov A.M. Objectives and structure of the information and communication system of smart organic farming. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. N15(4). 56-64 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.
5. Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A. et al. Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022. Vol. 60. N4. 372-379 (In English). DOI: 10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379.
6. Popov V.D., Fedorenko V.F., Bryuhanov A.Yu. Priorities of ecological development of livestock breeding in Russia and ways of their realization. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020. N12(282). 2-5. (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-12-2-5.
7. Savchenko I.V. Ecology safety crop production for obtaining high-quality products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. Vol. 89. N5. 527-531 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531.
8. Minin V., Ustroeв A., Mbaiholoie E., Subbotin I. Technical

- provision of organic farming in Russia: problems and prospects. *NJF Report*. 2017. Vol. 13. N1. 133-134. EDN: UQFGVO.
9. Smith L.G., Williams A.G., Pearce Bruce D. The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015. N30(3). 280-301 (In English). DOI: 10.1017/S1742170513000471.
 10. Fedorenko V.F., Bryukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual basis for the development of organic agricultural production. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024. N1 (319). 2-7 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2024-1-2-7.
 11. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroeв A.A. et al. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2019. 012088. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012088.
 12. Gamage A., Gangahagedara R., Gamage J. et al. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*. Vol. 1. Iss. 1. 2023. 100005. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
 13. Mie A., Andersen H.R., Gunnarsson S. et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017. N16. 111. DOI: 10.1186/s12940-017-0315-4.
 14. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169. DOI: 10.1017/S1742170510000116.
 15. Minin V.B., Chernikova M.V. Efficiency assessment of organic potato cultivation technology in the Leningrad Region. *AgroEcoEngineering*. 2023. N4(117). 42-57 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2023-4117-42-57.
 16. Petrova L.I., Mitrofanov Yu.I., Gulyaev M.V., Pervushina N.K. Influence of various factors on crop formation and potato quality. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021 N4 (207). 34-42 (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
 17. Utenkov G.L. To estimate the efficiency of machine technologies of cultivation grain crops. *Fundamental research*. 2017. N12-1. 229-233 (In Russian). EDN: ZXPWDB.
 18. Loiko V.I., Tkachenko V.V., Litnev N.N. Models and methods of evaluating technologies of agricultural production (on the example of crop production): software implementation and main results. *Scientific Journal of KubGAU*. 2017. N134(10). 1-29 (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-134-104.
 19. Gunnarsson C., Hansson P.-A. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. *Agricultural Systems*. 2004. N80. 85-103 (In English). DOI: 10.1016/j.agry.2003.06.005.
 20. Zakharov A.M., Murzaev E.A. Cascade model for designing organic crop production technologies. *AgroEcoEngineering*. 2024. N2(119). 29-43 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-29-42.
 21. Zadonskaya O.B., Briukhanov A.Yu., Oblomkova N.S. Comparative application analysis of different methods for assessing the agricultural nitrogen and phosphorus inputs in the Narva River basin. *AgroEcoEngineering*. 2022. N1(110). 142-155 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-142-154.
 22. Filin V.I. Crop programming: from idea to theory and crop technology. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2014. N3(35). 26-36 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Захаров А.М. – научное руководство, постановка цели, анализ отечественных и зарубежных литературных источников по проблеме, представленной в публикации, формулировка выводов;
 Устroeв А.А. – методическое руководство процессом теоретических научных исследований, формирование подхода многокритериальной оценки;
 Мурзаев Е.А. – анализ отечественных и зарубежных литературных источников по проблеме, проведение апробационного расчета;
 Комоедов А.Д. – анализ литературных источников по проблеме, подготовка иллюстраций, работа с текстом.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zakharov A.M. – scientific supervision, goal setting, analysis of domestic and international literature on the problem presented in the publication, formulation of conclusions.
 Ustroeв A.A. – methodological guidance in the theoretical scientific research process and development of a multicriteria evaluation approach.
 Murzaev E.A. – analysis of domestic and international literature on the problem, performing an approbation calculation;
 Komoevov A.D. – analysis of literary sources on the problem, preparation of illustrations, work with the text.
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

03.12.2024
 25.02.2025