

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 631.1.016(470.64)

DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-81-89

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Аслан Каральбиевич Апажев¹, Юрий Ахметханович Шекихачев^{✉2}

^{1,2}Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова,
пр. Ленина, д. 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹kbr.apagev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

Аннотация. В статье на основании анализа современного техногенного этапа развития аграрной сферы показано, что он характеризуется определенными сложностями, связанными с формированием экологически сбалансированных сельскохозяйственных производственных систем (СПС). Показано, что указанные сложности обусловлены охватом достаточно широкого круга вопросов: сложные физико-химические и биологические процессы в почве, круговорот веществ и потоков энергии в СПС, трансформация органического вещества, усовершенствование специализации СПС, оптимизация структуры сельскохозяйственных ландшафтов, организация территории землепользования и пр. Постоянное развитие АПК предусматривает обеспечение экологически безопасного и экономически сбалансированного взаимодействия трех сфер межотраслевой кооперации. Анализ состояния проблемы показал, что одним из условий устойчивого функционирования АПК для Кабардино-Балкарской Республики (КБР) является достижение оптимального соотношения стоимости продукции всех трех составляющих на основе современных методов эколого-математического моделирования. На основании результатов исследования, базирующихся на результатах анализа функционирования СПС в ООО НП «Шэджем» Чегемского района КБР посредством логического анализа, установлено, что совершенствование структуры посевных площадей, планирование севооборотов, оптимизация использования удобрений и учет структурных и составляющих особенностей пашни позволило увеличить объем полученной продукции от 2,8 до 12,2% при одновременном уменьшении объема использованных финансовых средств на 11% и снижении себестоимости на 3-6%.

Ключевые слова: сельскохозяйственные производственные системы, почва, экология, удобрения, функционирование, устойчивость, оптимизация, моделирование

Для цитирования. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. 1(35). С. 81–89. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-81-89

Research Article

OPTIMIZING THE FUNCTIONING OF AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

Aslan K. Apazhev¹, Yuri A. Shekikhachev^{✉2}

^{1,2}Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Lenin Avenue, 1v, Nalchik, Russia, 360030

¹kbr.apagev@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

Abstract. Based on the analysis of the modern technogenic stage of development of the agrarian sector, the article shows that it is characterized by certain difficulties associated with the formation of environmentally balanced agricultural production systems (APS). It is shown that these difficulties are due to the coverage of a fairly wide range of issues: complex physicochemical and biological processes in the soil, the cycle of substances and energy flows in the APS, the transformation of organic matter, the improvement of the specialization of the APS, the optimization of the structure of agricultural landscapes, the organization of the land use area, etc. Constant the development of the agro-industrial complex provides for the provision of an environmentally safe and economically balanced interaction of the three areas of intersectoral cooperation. An analysis of the state of the problem showed that one of the conditions for the sustainable functioning of the agro-industrial complex for the Kabardino-Balkarian Republic (KBR) is to achieve the optimal ratio of the cost of production of all three components based on modern methods of environmental and mathematical modeling. According to the results of the study, based on the results of the analysis of the functioning of the APS in LLC NP «Shedzhem» of the Chegemsky district of the KBR through logical analysis, it was found that improving the structure of sown areas, planning crop rotations, optimizing the use of fertilizers and taking into account the structural and constituent features of arable land made it possible to increase the volume of obtained products from 2,8 to 12,2% while reducing the volume of used financial resources by 11% and reducing the cost by 3-6%.

Keywords: agricultural production systems, soil, ecology, fertilizers, functioning, sustainability, optimization, modeling

For citation. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A. Optimization of the functioning of agricultural production systems // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova* [Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]. 2022;1(35):81–89. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-81-89

Введение. Специфическая особенность аграрного производства – зависимость его эффективности как от количества вложенных в него материально-трудовых ресурсов, которые являются определяющими для других производственных сфер, так и от того, соответствуют ли его отрасли специфическим природно-климатическим условиям региона. Адаптивность той или иной отрасли аграрного производства к почвенно-климатическим условиям региона важна, так как главные средства производства и объекты труда представлены живыми организмами, почвой, биотой, насекомыми, птицами, животными и т.д., которые характеризуются особенностью биологии и спецификой требований к природно-климатическим условиям. Всё это оказывает определяющее влияние на конечный результат труда в аграрном производстве [1-4].

Таким образом, только на базе учета особенностей биологии и специфики требований к природно-климатическим условиям региона возможно обеспечение высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и животных. В противном случае делает аграрное

производство малоэффективным и даже убыточным [5-8].

Эффективно проанализировать и исследовать динамику происходящих в СПС процессов, спрогнозировать их развитие в перспективе возможно с использованием методов эколого-математического моделирования [9-11].

Специфика всех задач математического моделирования связана с тем, что к ним, как правило, нельзя применить методы классического анализа при определении условных экстремумов. Даже в простейших задачах линейный экстремум находится в угловых точках множества решений, то есть в точках, в которых нарушается дифференцируемость. Более того, классический метод решения экстремальных задач – метод множителей Лагранжа – разработан на случай, когда множество условий задано системой уравнений, а не системой неравенств.

Вторая специфическая особенность задач математического моделирования связана с размером задач.

В практических задачах количество переменных и ограничений достаточно велико и анализировать экстремальность всех угло-

вых точек множества условий просто невозможно.

Эти две специфические особенности задач математического моделирования и обусловили поиск эффективных методов решения. Отсюда цель математического моделирования – разработать аналитические методы решения задач или создать эффективные вычислительные схемы для получения приближенного решения.

Моделирование включает построение концептуальной основы экономической задачи и представление ее в математическом виде.

Практически все математические модели включают в себя три типа компонент-переменных: результирующие или зависимые переменные, независимые переменные, неконтролируемые переменные (погрешности). В случае, когда моделируемая система или объект управляемы, в структуру модели входят также управляющие переменные. Независимые переменные описывают те элементы задачи, для которых может быть сделан выбор (например, объемы распределения средств), они контролируются лицом, принимающим решение и математически неизвестными величинами. Задача моделирования состоит в определении лучших их значений. Зависимые переменные отражают эффективность работы системы, как хорошо система удовлетворяет свои цели (к примеру, общий доход).

Неконтролируемые переменные описывают факторы, оказывающие влияние на результат деятельности системы, но не руководствуются в рамках этой системы. Они также независимы. Сменные модели связываются между собой математическими уравнениями и неравенствами. Решение модели состоит в определении множества значений независимых переменных, обеспечивающих желаемый уровень эффективности системы.

Поскольку СПС являются сложными системами, часто возникает проблема сложности их формализации. Проблема сложности моделирования СПС имеет два аспекта: когда сложность связана с большим размером СПС; когда СПС имеет небольшое количество компонентов, но описывается сложным законом функционирования.

В первом случае начальная СПС или ее компоненты заменяются другой, более про-

стой. Во втором случае СПС рассматривается как иерархическая структура, которая может разделяться на части, каждая из которых может в дальнейшем рассматриваться в определенной степени независимо друг от друга. В случае сложной иерархии СПС формализация должна производиться на каждом уровне детализации такой СПС.

Описание процессов, протекающих в СПС, их анализ и прогнозирование осуществляется с помощью их качественных и количественных характеристик. Для удачного управления СПС необходимо понимание явлений, порождающих имеющиеся свойства, как эти свойства отражают изучаемые технологические процессы.

Оптимизационное моделирование в сельском хозяйстве используется для нахождения оптимального состояния производства (по определенному критерию, например, максимуму производительности СПС, минимуму финансовых затрат и пр.) при ограниченном ресурсообеспечении при сохранении экологического состояния региона (сохранение или повышение плодородия почв, уменьшение или прекращение эрозии, поддержание способности СПС к самовосстановлению, уменьшение доли минеральных веществ, выносимых с урожаем и пр.).

Цель исследования – оптимизация функционирования СПС с использованием методов эколого-математического моделирования.

Материалы, методы и объекты исследования. База исследования – результаты функционирования СПС посредством логического анализа. Среди методов изучения количественных закономерностей, характеризующих СПС, особое внимание уделено совокупности методов обработки статистических данных, основанной на применении концепций и процедур математической статистики. Объект исследования – состояние функционирования СПС.

Результаты исследования. Сложность СПС, как объекта исследований, требует тщательного изучения для выяснения важнейших функциональных зависимостей, внутренних взаимосвязей между элементами системы. В результате принимаются возможные упрощения и допущения, что, очевидно, ухудшает адекватность полученных математических моделей. Однако только принятие определен-

ных допущений дает возможность формализации какой-либо экономической ситуации и ее моделирования.

Не существует общих рекомендаций по моделированию, поэтому в каждом конкретном случае требования к построению математической модели зависят от целей и условий исследования.

В процессе использования математического моделирования СПС четкая постановка задачи и ее формализация являются самым сложным этапом исследований, требующим основательных знаний, прежде всего экономической сущности моделируемых процессов. Однако удачно созданная математическая модель может быть в дальнейшем применена для других задач, не относящихся к первоначально моделируемой ситуации.

Применение методов экономико-математического моделирования предполагает решение комплекса сложных отраслевых задач: распределение дефицитных ресурсов, размещение предприятий отрасли, усовершенствование производственной структуры, оптимизация производственной программы, технологического процесса, запасов, транспортных расходов и т.д.

Совершенствование экономико-математического моделирования способствовало тому, что было создано большое количество математических моделей и соответствующих методов для обеспечения экономических, организационных и технологических процессов.

Экономико-математические модели являются результатом использования математических методов, которые делятся на:

1) оптимизационные: линейное, дискретное, параметрическое, динамическое программирование;

2) неоптимизационные: анализ временных рядов, статистическое моделирование, корреляционный, регрессионный, кластерный анализ, матричные методы.

Целесообразно выполнить сравнительный анализ методов оптимизации, поскольку именно эта группа позволяет сформировать критерий оптимальности, соответствующий целям поставленной задачи (в зависимости от целевой функции), определить эффективный план перевозки продукции от производителей к предприятиям-складам, минимизируя общие транспортные расходы при условии, что

количество товара поставщиков реализуется полностью и максимально удовлетворены потребности потребителей.

Эколого-математическая модель оптимизации использования двух видов удобрений в ООО НП «Шэджэм» Чегемского района КБР (минеральных и биологических) для получения дополнительной продукции растениеводства запишется в виде:

$$M = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} K_{ij} S_{ij} \rightarrow \max,$$

где:

K_{ij} – коэффициент выхода продукции j -той культуры на i -том участке;

S_{ij} – площадь i -того участка под j -той культурой.

Условия и ограничения модели:

- баланс площади пашни: $\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} Y_j S_{ij} \leq F_i$;

- баланс удобрений: $\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} X_{rji} S_{ij} \leq F_r$;

- баланс гумуса:

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} N_{rji} S_{ij} - \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} P_{rji} S_{ij} \leq 0;$$

- баланс элементов питательных веществ для формирования валового урожая:

$$V_{rj} W_{ji} - Z_{rji} S_{ij} K_{rji}^{\min} - W_{rji} = 0;$$

- использование питательных веществ почвы: $W_{rji} - B_{rij} K_{rji}^{\min} \leq 0$;

- формирование урожайности сельскохозяйственных культур: $W_{ji} \geq W_{j(p)}$;

- гарантированный объем производства продукции: $S_{ij} U_{ji}^b \leq W_{ji} \leq S_{ij} U_{ji}^{\max}$,

где:

Y_j – количество участков под j -й культурой;

S_{ij} – площадь i -го участка под j -той культуры;

F_i – ресурс пашни сельхозпредприятия;

I – множество земельных участков;

i – номер земельного участка, $i \in I$;

J – множество сельскохозяйственных культур;

j – номер сельскохозяйственной культуры, $j \in J$;

X_{rji} – количество удобрений r -го вида, что нужно внести под j -ю культуру на i -м поле;

F_r – ресурс удобрений;

P_{rji} – потери гумуса при внесении удобрений r -го вида, что нужно внести под j -ю культуру на i -м поле;

N_{rji} – накопление гумуса при внесении удобрений r -го вида, что нужно внести под j -ю культуру на i -м поле;

R – множество видов удобрений;

r – вид удобрения, $r \in R$;

V_{rj} – вынос r -ых питательных веществ единицей продукции j -ой культуры;

W_{ji} – валовой сбор j -ой культуры из i -го поля;

Z_{rji} – количество r -ых удобрений, которые необходимо внести на 1 га i -го поля под j -тую культуру;

$K_{rji}^{\min}$ – коэффициент использования питательных веществ r -го вида j -ой культуры на i -м поле из минеральных удобрений;

W_{rji} – количество r -ых питательных веществ, которые растения используют из почвы;

B_{rji} – запас r -ых питательных веществ в пахотном слое по всей площади i -го поля, засеянного j -ой культурой;

U_{ji}^b – уровень урожайности j -ой культуры на i -ом поле без внесения удобрений;

$U_{ji}^{\max}$ – уровень максимальной урожайности j -ой культуры на i -ом поле с внесением удобрений;

$W_{j(p)}$ – плановое производство продукции j -ой культуры.

При ручном проектировании СПС, как правило, невозможно разрабатывать и анализировать множество вариантов, что связано со значительной трудоемкостью выполнения этих работ. Решение данной задачи более эффективно при использовании систем автоматизации проектирования СПС (САПР СПС).

Цель применения САПР СПС – нахождение оптимального техпроцесса. Однако не может быть речи о каком-либо оптимальном функционировании СПС в общем содержании, поэтому поиск оптимального технологического процесса производится в отношении определенных критериев оптимальности. Однако в различных производственных условиях приоритет критериев оптимальности разный, поэтому актуальна проблема поиска путей создания системы многокритериальной оптимизации функционирования СПС.

На сегодня отсутствуют исследования, посвященные разработке эффективных систем многокритериальной оптимизации техпроцессов, в основном, из-за стремления к упрощению оптимизационной задачи.

Представляют определенный интерес исследования в направлении вывода методов получения обобщающих критериев оптимальности (интегральный подход) и принятия определенного критерия оптимальности в качестве определяющего (дифференциальный подход), однако прямое сочетание результатов работ в двух направлениях не способно сформировать систему многокритериальной оптимизации СПС вследствие существующих между ними концептуальных и формализационных противоречий.

Интегральный подход заключается в расписании общего критерия оптимизации СПС O_k к первоначальным коэффициентам [12]:

$$O_k = \sum_{i=1}^n v_i c_i,$$

где:

v_i – коэффициенты, определяющие вес каждого отдельного критерия;

C_i – отдельные критерии, которые в совокупности определяют комплексный критерий.

Отдельные критерии распределяются по категориям: технические, экономические и социальные. При этом перечислению общего критерия оптимизации предшествует нормализация собственных критериев оптимизации путем их сравнения с их максимальным и минимальным значением на множестве решений.

В работе [13] предлагается определение общего критерия (интегральный подход) на основе аддитивного, мультипликативного, конъюнктивного и дизъюнктивного подхода.

В случаях дифференциального подхода, т.е. принятия определенного собственного критерия оптимальности в качестве определяющего, задача сужается к определению одного критерия оптимальности, что делает невозможным изменение вектора ценности СПС и, соответственно, снижает гибкость САПР СПС. При интегральных подходах возникает проблема трудоемкости одновременного использования больших комплексов критериев оптимальности и установления взаимосвязей между ними. Кроме того, увеличение количества одновременно используемых критериев оптимальности требует установления их иерархической структуры, а существующие методы нахождения обобщающих критериев оптимальности не позволяют динамически определять взаимосвязи между собственными критериями оптимальности в соответствии с изменениями производственных условий и задач. Учет недостаточного количества критериев оптимальности приводит к преувеличению влияния отдельных критериев без учета других.

Применение дифференциальных подходов достаточно эффективно при решении задач проектирования СПС, однако такие типы оптимизации не учитывают возможность смены производственных приоритетов, что делает соответствующие САПР СПС не универсальными даже в рамках отдельного сельхозпредприятия.

Следовательно, пути оптимизации анализа функционирования СПС как по заранее заданным обобщающим критериям оптимальности, так и по собственным критериям

оптимальности, ведут к снижению общей эффективности САПР СПС и увеличению вероятности принятия ошибочных решений.

С учетом изложенного, в качестве критерия оптимизации принято получение дополнительного количества продукции растениеводства. Модель построена на математической теории линейного программирования и эффективно решается симплекс-методом с искусственным базисом.

В результате оптимизации использования удобрений получен прирост валового сбора урожая зерна в хозяйстве в размере 852,32 ц. Использование эколого-математической модели позволило одновременно подойти к решению двух проблем – воспроизводство почвенного плодородия и повышения продуктивности растениеводства, что позволяет использовать внутренний возобновляемый потенциал хозяйства, что и определяет устойчивость сельскохозяйственной производственной системы (СПС).

Обработка оптимальных вариантов разработанных моделей позволила за счет усовершенствования производственной структуры за ограниченные ресурсы увеличивать объем полученной продукции от 2,8 до 12,2% при одновременном уменьшении суммы использованных финансовых средств на 11% и снижении себестоимости на 3-6%; то есть при минимальных затратах не только получать дополнительную продукцию и поступление, но и гарантированно восстановить природные ресурсы, обеспечить планирование и сбалансированное развитие всех составляющих СПС.

Выводы. Формирование конкурентоспособной экологически безопасной СПС должно осуществляться на основе научно обоснованного планирования сбалансированного развития всех отраслей и секторов производственного цикла с получением максимального экономического эффекта и рационального использования полученной прибыли.

С целью снижения деградационных явлений в современных СПС и создания предпосылок для их сбалансированного развития чрезвычайно важным является эколого-математическое моделирование СПС различного уровня, внедрение современных методов оптимизации функционирования СПС.

Сочетание возможностей современных программных продуктов и методов моделирования позволяет не только автоматизировать, унифицировать, значительно облегчить и ускорить проведение анализа данных о деятельности СПС, но и уменьшить погрешности расчетов и вероятность их появления, а следовательно, повысить эффективность функционирования СПС и создать предпосылки для эколого-экономического анализа взаимозависимостей природных и антропогенных факторов, выявления тесноты их связи и прогнозирования дальнейшего развития.

Использование эколого-оптимизационных моделей в ООО НП «Шэджем» Чегемского

района КБР позволило за счет совершенствования структуры посевных площадей, планирования севооборотов, оптимизации использования удобрений и учета структурных и составляющих особенностей пашни, из-за ограниченных ресурсов, увеличить объем полученной продукции от 2,8 до 12,2% при одновременном уменьшении суммы использованных финансовых средств на 11% и снижении себестоимости на 3-6%. В результате оптимизации использования удобрений получен прирост валового сбора урожая зерна в хозяйстве в размере 852,32 ц.

Список источников литературы

1. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B. et al. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards // *Indian Journal of Ecology*. 2017. Т. 44. № 2. С. 239–243.
2. Kudaev Z., Kumakhov A., Fiapshv A. et al. One the issue of the energy and resource saving // *E3S Web of Conferences*. 262. 2021. 01027. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201027
3. Шекихачева Л.З. Научно обоснованные принципы почвозащитной системы земледелия // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2021. № 4 (34). С. 86–90.
4. Шекихачева Л.З. Проблемы и перспективы экологизации сельскохозяйственного производства // В сб.: *Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность. Материалы VII Международной научно-практической конференции*. Нальчик, 2021. С. 253–256.
5. Бжеумыхов В.С., Шекихачева Л.З. Роль севооборотов при выращивании сельскохозяйственных культур по технологии no-till // *Научная жизнь*. 2020. Т. 15. № 1 (101). С. 34–45.
6. Бжеумыхов В.С., Тиев Р.А., Шекихачева Л.З. Технология возделывания подсолнечника по системе no-till с применением гербицидов // *Научная жизнь*. 2019. Т. 14. № 11 (99). С. 1675–1686.
7. Пазова Т.Х., Курманова М.К., Каздохов Х.К. и др. Оптимизация норм внесения удобрений в условиях эродированных почв // *АгроЭкоИнфо*. 2019. № 4 (38). С. 7.
8. Шекихачева Л.З., Мишхожев К.В., Жабоева Л.Х. Влияние уплотнения почвы на ее агрофизические свойства и урожай сельскохозяйственных культур // В сб.: *Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России. Сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции*. 2019. С. 257–260.
9. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Y.A. et al. Modeling the operation process of the unit for processing row-spacings off ruit plantings // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. 315(5). 052023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023
10. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M. et al. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia // *Journal of Physics: Conference Series*. 1889. 2021. 032033. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032033

11. Fiapshev A., Hamokov M., Kilchukova O. et al. Optimization of parameters and operating modes of a biomethane installation for maximum biomethane discharge // E3S Web of Conferences. 262. 2021. 01029. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201029

12. Мишура Е.В. Комплексный подход в оптимизации технологических операций механообработки на основе использования нейросетевых технологий // Сборник докладов Международной научной конференции. Краматорск, 2005. С. 83–87.

13. Аверченков В.И., Горленко О.А. Проектирование технологических процессов на основе системного подхода. Брянск, 1986. 88 с.

References

1. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B. et al. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. Indian Journal of Ecology. 2017;44(2):239–243.

2. Kudaev Z., Kumakhov A., Fiapshev A. et al. One the issue of the energy and resource saving. E3S Web of Conferences. 262. 2021. 01027. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201027

3. Shekihacheva L.Z. Science-based principles of soil-protective farming system. *Izvestiya-Kabardino-Balkarskogogosudarstvennogoagrarnogouniversitetaim. V.M. Kokova* [Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]. 2021;4(34):86–90. (In Russ.)

4. Shekihacheva L.Z. Problems and prospects of greening agricultural production. *V sb.: Sel'skohozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost'. Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [In: Agricultural land use and food security. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference]. Nal'chik, 2021:253–256. (In Russ.)

5. Bzheumykhov V.S., Shekihacheva L.Z. The role of crop rotations in the cultivation of agricultural crops using no-till technology. *Nauchnayazhizn'*. [Scientific Life]. 2020;15:1(101):34–45. (In Russ.)

6. Bzheumykhov V.S., Tiev R.A., Shekihacheva L.Z. No-till sunflower cultivation technology with the use of herbicides. *Nauchnaya zhizn'*. [Scientific Life]. 2019;14:11(99):1675–1686. (In Russ.)

7. Pazova T.H., Kurmanova M.K., Kazdohov H.K. et al. Optimizing Fertilizer Application Rates in Eroded Soil Conditions. *AgroEkoInfo*. 2019;4(38):7. (In Russ.)

8. Shekihacheva L.Z., Mishkhozhev K.V., ZHaboieva L.H. Influence of soil compaction on its agrophysical properties and crop yield. *V sb.: Inzhenernoe obespechenie innovacionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossii. Sbornik nauchnyh trudov VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [In: Engineering support for innovative development of the Russian agro-industrial complex. Collection of scientific papers of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference]. 2019:257–260. (In Russ.)

9. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Y.A. et al. Modeling the operation process of the unit for processing row-spacings of fruit plantings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;315(5). 052023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023

10. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M. et al. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia. Journal of Physics: Conference Series. 1889. 2021. 032033. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032033

11. Fiapshev A., Hamokov M., Kilchukova O. et al. Optimization of parameters and operating modes of a biomethane installation for maximum biomethane discharge. E3S Web of Conferences. 262. 2021. 01029. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201029

12. Mishura E.V. An integrated approach to optimizing technological operations of machining based on the use of neural network technologies. *Sbornik докладov Mezhdunarodno jnauchnoj*

konferencii [Collection of reports of the International Scientific Conference]. Kramatorsk, 2005:83–87. (In Russ.)

13. Averchenkov V.I., Gorlenko O.A. *Proektirovanie tekhnologicheskikh processov na osnove sistemnogo podhoda* [Design of technological processes based on a systematic approach]. Bryansk, 1986. 88 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Апажев Аслан Каральбиевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», SPIN-код: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus Author ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», SPIN-код: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus Author ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Information about the authors

Aslan K. Apazhev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov», SPIN-code: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus Author ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Yuri A. Shekikhachev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov», SPIN-code: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus Author ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Авторский вклад. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors were directly involved into the planning, execution and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 04.03.2022; принята к публикации 09.03.2022.

The article was submitted 11.02.2022; approved after reviewing 04.03.2022; accepted for publication 09.03.2022.