

Научная статья
УДК 631.352:519.673
doi: 10.55196/2411-3492-2022-2-36-118-127

Математическое моделирование процесса удаления растительности при проведении мелиоративных работ

Юрий Ахметханович Шекихачев^{✉1}, Фахретдин Магомедович Магомедов²

¹Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, д. 1в, Нальчик, Россия, 360030

²Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, ул. М. Гаджиева, д. 180, Махачкала, Россия, 367032

^{✉1}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

²fahr-59@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7202-9898>

Аннотация. В статье на основании анализа процесса удаления растительности при проведении мелиоративных работ показано, что для их выполнения при наименьшей сумме текущих и капитальных затрат необходимо учитывать ограниченность некоторых видов ресурсов, требования к работам определенного вида и другие факторы. В ходе математического моделирования учитывалось, что количество технических средств для выполнения планируемых работ не должно превышать суммы машин, имеющих в хозяйстве, покупаемых вновь и привлекаемых из других хозяйств с вычетом подлежащих снятию с баланса и передаваемых на прокат в этот период. При установлении количества горюче-смазочных материалов для конкретного периода при выполнении механизированных работ необходимо иметь в виду интенсивность использования машин. При планировании количества машин и их использовании необходимо учитывать сезонность выполнения работ и ограниченность резервов для пополнения штата механизаторов. Сформулированы конкретные ограничения, которые позволяют комплексно планировать использование машин и труда механизаторов. В результате проведенных исследований установлено, что разработка плана оптимального распределения парка машин позволяет установить оптимальный вариант использования машин, эффективность выполнения конкретных операций технологического процесса отдельными машинами, обеспечить выполнение имеющимися машинами работ в оптимальные сроки, что, в конечном итоге, способствует повышению рентабельности эксплуатации машин на 15-35%.

Ключевые слова: мелиоративные каналы, растительность, скашивание, косилки, моделирование, оптимизация

Для цитирования. Шекихачев Ю. А., Магомедов Ф. М. Математическое моделирование процесса удаления растительности при проведении мелиоративных работ // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 2(36). С. 118–127.
doi: 10.55196/2411-3492-2022-2-36-118-127

Original article

Mathematical modeling of the process of vegetation removal during reclaim work

Yuri A. Shekikhachev^{✉1}, Fakhretdin M. Magomedov²

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

²Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, 180 M. Gadzhieva street, Makhachkala, Russia, 367032

^{✉1}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

²fahr-59@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7202-9898>

Abstract. In the article, based on the analysis of the process of removing vegetation during reclamation work, it is shown that in order to perform them at the lowest amount of current and capital costs, it is necessary to take into account the limited nature of certain types of resources, the requirements for certain types of work, and other factors. In the course of mathematical modeling, it was taken into account that the number of technical means for performing the planned work should not exceed the amount of machines available on the farm, bought again and attracted from other farms, minus those to be withdrawn from the balance sheet and leased during this period. When establishing the amount of fuels and lubricants for a specific period when performing mechanized work, it is necessary to keep in mind the intensity of use of machines. When planning the number of machines and their use, it is necessary to take into account the seasonal nature of the work and the limited reserves for replenishing the staff of machine operators. Specific restrictions are formulated that allow for a comprehensive planning of the use of machines and the labor of machine operators. As a result of the research, it was found that the development of a plan for the optimal distribution of the fleet of machines allows you to establish the best option for using machines, the efficiency of performing specific operations of the technological process by individual machines, ensuring that the existing machines perform work in the optimal time, which ultimately helps to increase the profitability of operating machines on 15-35%.

Keywords: meliorative channels, vegetation, mowing, mowers, modeling, optimization

For citation. Shekikhachev Y.A., Magomedov F.M. Mathematical modeling of the process of vegetation removal during reclamation works. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;2(36):118–127. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2022-2-36-118-127

Введение. Современное решение экономических ситуаций ставит перед мелиораторами ряд специфических проблем, связанных с поиском путей повышения устойчивости [1–4] и снижения затрат на поддержание мелиоративных каналов (и системы в целом) в исправном состоянии [5–7]. Одной из таких проблем является повышение коэффициента полезного действия (КПД) каналов с одновременным снижением стоимости выполняемых работ. Однако практика эксплуатации каналов показывает, что для поддержания их в исправном состоянии (т.е. обеспечение их высокого КПД) необходимо проводить ряд технологических операций скашивания каналов: скашивание растительности на гребне дамб каналов; скашивание растительности на откосах каналов; скашивание растительности на дне каналов; сгребание скошенной растительности погрузка и вывоз скошенной растительности.

Для исследования указанных процессов, определения и прогнозирования эффективности технических средств для их выполнения, перспективно использование математического моделирования.

Моделирование является одним из самых важных инструментов. Стремительное развитие и распространение различных моделей функционирования сельскохозяйственных

машин обуславливается теми преимуществами, которые имеет модельный подход среди всего арсенала научных подходов [8, 9]. К таким преимуществам относятся относительная дешевизна соответствующих работ, возможность корректного исследования сложных процессов, к которым можно отнести процесс удаления растительности с использованием косилочных устройств, низкая трудоемкость и удобство выполнения работ [10].

В основе моделирования как научного подхода лежит замена реального объекта или процесса упрощенным аналогом, который и называется моделью. Процесс моделирования, таким образом, заключается в создании модели объекта или процесса и дальнейшего изучения. Полученные в процессе такого изучения результаты переносятся по определенным правилам на реальный объект. Важной процедурой здесь является установление сходства модели реальному процессу (объекту) [11, 12].

Построение и использование математических моделей не регламентируется необходимостью определения критериев подобия, в результате чего особую актуальность в математическом моделировании имеет проблема адекватности модели, т.е. соответствие модели оригиналу. Можно выделить два критерия адекватности математических моделей:

1) критерий внутреннего совершенства (требование логичности и простоты основных конструкций модели и соотношений между ними);

2) критерий внешней оправданности (соответствие модели наблюдаемым фактам). Каждая модель перед использованием должна быть оценена по обоим критериям. При этом если критерий внутреннего совершенства предусматривает преимущественно качественную оценку соответствия модели оригиналу, то критерий внешнего соответствия требует проверку соответствия результатов моделирования данным наблюдений за моделируемым процессом (объектом).

С учетом изложенного, составлена математическая модель процесса скашивания растительности на каналах при известном плане производства работ, который необходимо выполнить в установленные агротехнические сроки и в определенной последовательности.

Цель исследования – определение способов и сроков выполнения скашивания растительности на каналах, а также количества косилок для выполнения работ.

Материалы, методы и объекты исследования. База исследования – результаты функционирования косилок для окашивания мелиоративных каналов. При проведении исследований использованы методы математического моделирования и обработки статистических данных, основанной на применении концепций и процедур математической статистики. Объект исследования – косилки для окашивания мелиоративных каналов.

Результаты исследования. При известной длине каналов, подлежащих окашиванию, перечне и технико-экономических характеристиках косилок, применяемых для этой работы, комплектование необходимыми машинами и график их использования обеспечат выполнение работы при наименьшей сумме текущих и капитальных затрат.

В зависимости от конкретных условий необходимо учитывать ограниченность некоторых видов ресурсов, требования к работам определенного вида и другие факторы.

Когда на каналах выполняется J видов работ за конкретный промежуток времени и расчетные периоды T , а также календарная

продолжительность τ_t их известна, то для конкретного вида работ $j=1\dots J$ заданы:

объем P_j , начальный t^0 и конечный t_j периоды и количество возможных способов ее выполнения S_j . Тогда для всех работ необ-

ходимо $S = \sum_{j=1}^J S_j$ способов их выполнения.

Работы по обслуживанию машин, объемы которых зависят от интенсивности их использования, принимаются как отдельные виды.

При выполнении работ по окашиванию каналов составляются комплекты из S видов машин, обслуживаться механизаторами m видов специальностей.

Определяемые показатели рассматриваются при следующих условиях:

$$X_{jt}^s \geq 0; \quad Y_i \geq 0; \quad Y_i^t \geq 0; \quad Z_i \geq 0;$$

$$Z_i^t \geq 0; \quad Y_m \geq 0; \quad Y_m^t \geq 0; \quad Y_r \geq 0,$$

где:

X_{jt}^s – количество машин (интенсивность способа) S -го вида, которые нужно использовать для выполнения j -й работы в t -й период, шт.;

Y_i – количество машин i -го вида, которые можно купить для хозяйства, шт.;

Y_i^t – количество машин вида i , которые нужно привлечь в период t , шт.;

Z_i^t – количество машин вида i , которые целесообразно отдать напрокат в период t , шт.;

Z_i – количество машин вида i , которые целесообразно снять с баланса хозяйства, шт.;

Y_m – количество механизаторов специальности m , которых необходимо привлечь дополнительно в штат хозяйства, чел.;

Y_m^t – количество механизаторов специальности m , которых следует привлечь на работу в период t , чел.;

Y_r – количество средств технического обслуживания вида r , которые нужно при-

обрести в парк для того, чтобы обеспечить работоспособность техники, шт.

Планируемые работы в установленных объемах выполняются в соответствующие агротехнические сроки:

$$\sum_{t=t^o}^{t_j} \sum_{S=1}^{S_j} (a_{jt}^S + \Delta a_{jt}^S) K_{jt}^S = P_j \quad (1)$$

где:

$a_{jt}^S = a_j^S \sigma_{jt}^S \tau_t \kappa_{jt}^S$; Δa_{jt}^S – изменение производительности комплексов, зависящие от организации использования или обслуживания техники, от сроков службы машин и др., га;

a_j^S – сменная производительность при выполнении работы j , га;

σ_{jt}^S – показатель сменности при выполнении работы j в период t способом S , т.е. количество смен работы комплекса в течение суток;

τ_t – время выполнения работ, ч;

K_{jt}^S – коэффициент использования календарного времени, учитывающий влияние метеоусловий (или других случайных факторов) при выполнении в период t работы j способом S .

Количество машин, для выполнения планируемых работ не должно превышать суммы машин, имеющихся в хозяйстве, покупаемых вновь и привлекаемых из других хозяйств с вычетом подлежащих снятию с баланса и передаваемых на прокат в этот период:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{S=1}^{S_j} \lambda_{ij}^S K_{jt}^S \leq Q_i^t + Y_i + Y_i^t - Z_i^t - Z_i; \quad (2)$$

$$i = \overline{1..S}; \quad t = \overline{1..T},$$

где:

λ_{ij}^S – количество машин i -го вида, входящих в комплекс при выполнении работы j , шт.;

Q_i^t – количество машин i -го вида в хозяйстве, которые могут быть использованы на работах в период t , шт.

Количество механизаторов m -й специальности, которые заняты на выполнении работ в конкретный период, должно быть меньше суммарного количества находящихся в хозяйстве и привлекаемых на постоянную и сезонную работу:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{S=1}^{S_j} \mu_{mj}^S K_{jt}^S \leq Q_m^t + Y_m^t; \quad (3)$$

$$m = \overline{1..M}; \quad t = \overline{1..T},$$

где:

μ_{mj}^S – количество механизаторов m -й специальности, необходимых для обслуживания комплекса S при выполнении j -го вида работ, чел.

Количество горюче-смазочных материалов (ГСМ) для конкретного периода при выполнении механизированных работ определяется с учетом интенсивности использования машин:

$$\sum_{S=1}^{S_j} \sum_{j=1}^J \Gamma_{jt}^S K_{jt}^S = \Gamma_t; \quad \Gamma = \sum_{t=1}^T \Gamma_t \quad (4)$$

где:

Γ – потребность ГСМ на весь объем механизированных работ, т;

Γ_t – расход ГСМ на выполнение работ в период t , т.

Работы для рассматриваемого комплекса должны выполняться в определенной последовательности:

$$\sum_{j_1} \sum_{t_1} \sum_{S_1} A_1 a_{j_1}^{S_1} x_{j_1}^{S_1} t_1 = \sum_{j_2} \sum_{t_2} \sum_{S_2} A_2 a_{j_2}^{S_2} K_{j_2}^{S_2} t_2, \quad (5)$$

где:

A_1, A_2 – коэффициенты перевода объемов согласуемых работ в одинаковые единицы измерения.

При соответствующих ограничениях суммирование производится по индексам работ j_1 и j_2 , периодам t_1 и t_2 и способам выполнения работ S_1 и S_2 , для которых необходимо согласование работ.

Величина для приведенных условий определяются так, чтобы обеспечивался \min функционала:

$$\begin{aligned}
 f(x_1, y) = & \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{S=1}^{S_j} (C_{jt}^S + \Delta C_{jt}^S) X_{jt}^S + \\
 & + \sum_{i=1}^S d_1(Q_i + Y_i) + a \sum_{i=1}^S c_i y_i + \sum_{r=1}^R d_1(Q_r + Y_r) + \\
 & + \sum_{r,t} C_r^t Y_r^t + a \sum_{r=1}^R C_r Y_k + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T C_m^t Y_m^t - \\
 & - \sum_{i=1}^S (d_i + \rho_i) Z_i - \sum_{i=1}^S \sum_{t=1}^T \rho_i^t Z_i^t \rightarrow \min, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где:

$C_{jt}^S = C_j^S \sigma_{jt}^S \tau_t K_{jt}^S$; c_j^S – прямые эксплуатационные затраты на выполнение j -го вида работ в течение смены, руб.

С учетом конкретных условий в хозяйстве, можно принять дополнительные ограничения или же исключить некоторые из них.

Отдельно рассмотрим каждый из этих видов условий.

В формуле (1) коэффициенты $K_{jt}^S, \sigma_{jt}^S, \tau_t$ позволяют учитывать влияние конкретных условий для величин ограничения по работе.

Используя, многолетние статистические данные гидрометеослужбы определяется K_{jt}^S как отношение необходимого числа дней, благоприятных для выполнения работ, к числу дней в периоде.

Когда σ_{jt}^S учитывает выполнение работ только в наиболее благоприятное для этого времени суток, то получается завышенная потребность в технике. При этом ухудшаются условия работы и его технико-экономических показателей.

В зависимости (1) учитывается суммирование по всем допустимым для выполнения работы периодам $t = t^0, t_j, j = 1, S$ что означает, где возможна оптимизация, как за счет выбора средств, так и за счет выбора периодов выполнения работ. Например, когда требуется четкое распределение объемов работ по дням и периодам, то ограничения для таких работ задаются для каждого пе-

риода в отдельности. Равномерное распределение объемов работ по дням в периодах может привести к образованию пиков потребности в машинах.

Следует вводить ограничения по машинам, входящим в комплексы, что требует необходимости выбора только тех машин, от количества которых значительно зависит величина функционала. К ним относятся имеющие большую стоимость косилки.

Ограничения (1), (2), (3) учитывают совокупность машин, а числа λ_{ij}^S указывают на необходимое количество машин.

В этом случае возможен выбор плана закупки машин с учетом стоимости всех машин и выбор одновременно плана выполнения отдельных работ и плана закупки определенных машин. Когда не создаются ограничения по косилкам для скашивания сорной растительности на каналах, то влияние их стоимости на величину функционала будет уменьшено. Возможно, что в отдельные периоды (особенно в начальные дни) тракторы, входящие в комплексы для скашивания растительности, будут в большинстве не заняты на других работах и это способствует увеличению потребности в косилках для скашивания растительности.

В условиях, когда специальные машины используются в течение одного периода, то нет необходимости вводить ограничения по ним.

Ограничения по большинству каналоокашивающих машин способствует равномерному их использованию и рациональному выполнению работ по скашиванию растительности на каналах.

При планировании количества машин и их использования необходимо учитывать сезонность выполнения работ и ограниченность резервов для пополнения штата механизаторов. Ограничение (3) позволяет комплексно планировать использование машин и труда механизаторов.

Возможные случаи при планировании с ограничениями по количеству механизаторов:

- определение потребного количества механизаторов для хозяйства;
- определение дополнительного количества механизаторов для привлечения на сезонную работу;

- планирование состава и использования машин при невозможности расширения количества механизаторов.

Отдельные виды работ при окашивании каналов взаимосвязаны между собой и поэтому они должны выполняться с учетом ограничения по согласованному выполнению взаимосвязанных работ и в определенной последовательности с некоторым сдвигом одного вида относительно другого (скашивание, сгребание, удаление растительности из каналов). Следовательно, связь между работами определяется выбором способов их выполнения.

Установлено, что производительность косилок для скашивания растительности на каналах зависит как от мощности базовой косилки, так и от выбора рабочего органа для скашивания. Это отражается на способе скашивания и выборе оптимального варианта выполнения технологического процесса.

Возможные нарушения согласованности в выполнении работ устраняются введением условия (5). Объемы работ P_{j_1} и P_{j_2} в этом случае могут иметь различные единицы измерения. Соизмеримость всех членов ограничения (5) обеспечивается вводом соответствующих коэффициентов A_{j_1} и A_{j_2} .

В случае необходимости установления зависимости между двумя видами работ, коэффициенты A_{j_1} и A_{j_2} определяются как отношение объема P_{j_2} к объему P_{j_1} :

когда $P_{j_1} = P_{j_2}$, то $A_{j_1} = \frac{P_{j_2}}{P_{j_1}} = 1$;

$$A_{j_1} = A_{j_2} = 1,$$

когда $P_{j_1} \neq P_{j_2}$, то $A_{j_1} = \frac{P_{j_2}}{P_{j_1}} \neq 1$;

$$A_{j_2} = 1.$$

Ограничения (5) показывают, что скашивание растительности опережает сгребание (с единицами измерения m^2).

Если сгребание производится в два следа $P_{сгреб} = 2P_{скаш}$.

$$\text{Тогда, } A_{скаш} = \frac{P_{сгреб}}{P_{скаш}} = 2 \neq 1, A_{сгреб} = 1,$$

$$\text{или } A_{сгреб} = \frac{P_{скаш}}{P_{сгреб}} = \frac{1}{2} \neq 1, A_{скаш} = 1.$$

Следовательно, для приведения объемов работ к одинаковым единицам измерения необходимо умножить производительность машин на соответствующие коэффициенты.

Когда устанавливается согласование между работами, выраженными в разных единицах, например, сгребание растительности с объемом P_{j_1} в m^2 и удаление ее из каналов

с объемом в тоннах, отношение $\frac{P_{j_2}}{P_{j_1}}$ показы-

вает, какой объем удаленной растительности соответствует 1 m^2 поверхности канала, на которой проведено сгребание скошенной растительности.

Принимая:

$$A_{j_1} = \frac{P_{j_2}}{P_{j_1}}; \quad A_{j_2} = 1, \quad (7)$$

все члены уравнения:

$$\sum_{S_{j_1}} \sum_{t_{j_1}} \frac{P_{j_2}}{P_{j_1}} a_{j_1}^{S_{j_2}} x_{j_1}^{S_{j_1}} t_{j_1} - \sum_{S_{j_2}} \sum_{t_{j_2}} a_{j_2}^{S_{j_2}} x_{j_2}^{S_{j_2}} t_{j_2} = 0 \quad (8)$$

выражаются в тоннах.

Когда имеется большое число планов, отвечающих условиям (1) и (5), то следует, что имеется необходимое количество машин для выполнения работ в соответствующей последовательности, в установленные сроки и в полном объеме. В этом случае можно установить оптимальный план, который удовлетворял бы условию (6) и обеспечивал наиболее выгодные условия для капитальных и производственных затрат.

Когда определяется оптимальность с критерием минимума затрат труда, то коэффициенты C_{jt}^S должны отражать прямые затраты труда (в часах, сменах) при использовании способа с единичной интенсивностью при выполнении работы j в период t . Тогда функция цели имеет вид:

$$f(c) = \sum_{j=1}^S \sum_{s=1}^{S_j} \sum_{t=t^0}^{t_j} C_{jt}^S x_{jt}^S \rightarrow \min. \quad (9)$$

Решение задачи с функцией цели позволит найти план, позволяющий минимизировать непосредственные затраты труда на выполнение всего комплекса работ.

В условиях ограниченности в хозяйстве средств на приобретение машин, ограничения (1)-(5) следует дополнить ограничением вида:

$$\sum_{i=1}^S c_i y_i \leq c, \quad (10)$$

где:

C_i – стоимость машины i -й марки, руб.;

C – сумма допустимых затрат на приобретение машин, руб.

При условии минимизации расхода горючего, получим:

$$\sum_{jt} \Gamma_{jt}^S X_{jt}^S \rightarrow \min, \quad (11)$$

где:

Γ_{jt}^S – коэффициенты функционала.

Тогда, согласно функции цели будет обеспечен минимум расхода горючего на выполнение всего комплекса работ.

Проанализируем условие (2), по которому оптимизируется количество машин в хозяйстве для полного выполнения всего объема работ по окашиванию каналов. При определении структуры вновь комплектуемого парка машин в хозяйстве, для установления эффективной системы машин, их типов и классов, необходимый расчет производится при условии: $Z_i = 0$; $Q_i = 0$ для $i = \overline{1..S}$. Тогда:

$$+ \alpha \sum_{i=1}^S C_i Y_i + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^S C_i^t Y_i^t \rightarrow \min \quad (12)$$

при ограничениях $X_{jt}^S \geq 0; Y_i \geq 0$.

Это означает, что необходимо выбрать такой вариант состава парка машин и план его работы, которые бы обеспечивали минимум затрат на эксплуатацию, комплектование и содержание этого парка машин.

При окашивании каналов необходимо применять перспективные машины, которые приобретаются хозяйством, и машины, которыми оно уже располагает.

В данной ситуации следует рассмотреть случаи, когда не учтены ограничения по трудовым ресурсам, средствам обслуживания и другие, а учитываются лишь ограничения вида (1). При этом функция цели имеет вид:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{S=1}^{S_j} \sum_{t=t^0}^{t_j^1} (c_{jt}^S + \Delta c_{jt}^S) x_{jt}^S - \sum_{i=1}^S (d_i + \rho_i) z_i + \sum_{i=1}^S d_i Q_i + \sum_{i=1}^S (\alpha c_i + d_i) y_i + \sum_{i=1}^S c_i^t y_i^t - \sum_{i=1}^S \rho_i^t z_i^t \rightarrow \min. \quad (13)$$

Откуда следует, что решение задачи оптимизации пополнения парка машин позволит получить минимум суммарных затрат на эксплуатацию, покупку и содержание машин.

При решении задачи распределения машин, имеющихся в парке, допускается, что $Q_i \neq 0$, $Z_i \neq 0$. Следовательно, новые машины хозяйством не приобретаются.

Тогда:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{S=1}^{S_j} \sum_{t_j=1}^{t_j^1} (c_{jt}^S + \Delta c_{jt}^S) x_{jt}^S - \sum_{i=1}^S (d_i + \rho_i) z_i - \sum_{i=1}^J \sum_{t=1}^J \rho_i^t z_i^t \rightarrow \min, \quad (14)$$

при условиях: $x_{jt}^S \geq 0; z_i \geq 0; z_i^t \geq 0$.

Следовательно, когда сумма затрат на эксплуатацию и содержание машин минимальны, план их использования выполняется.

Вывод. Разработка плана оптимального распределения парка машин позволяет установить оптимальный вариант использования машин, эффективность выполнения конкретных операций технологического процесса отдельными машинами, обеспечить выполнение имеющимися машинами работ в оптимальные сроки, что, в конечном итоге, способствует повышению рентабельности эксплуатации машин на 15-35%.

Список литературы

1. Шекихачева Л. З., Езиев М. И. Методические подходы к проектированию комплексов противозерозионных мероприятий в Кабардино-Балкарской республике // АгроЭкоИнфо. 2021. № 5(47), порядковый номер 12.

2. 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.
3. Шекихачева Л. З. Методические подходы к оценке экологического состояния почв // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 23–34.
4. Шекихачева Л. З. Концептуальные основы борьбы с ветровой эрозией почв // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 1(31). С. 108–112.
5. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Khazhmetov L.M., Fiapshev A.G., Shekikhacheva L.Z. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia // Journal of Physics: Conference Series. 1889. 2021. 032033.
6. Апажев А. К., Джанкезов Дж. И., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Мишхожев В. Х. и др. Проблемы и перспективы вовлечения в хозяйственный оборот бесхозных мелиорируемых земель Кабардино-Балкарской республики. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2021. 184 с.
7. Апажев А. К., Джанкезов Дж. И., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Мишхожев В. и др. Рекомендации по вовлечению в хозяйственный оборот бесхозных мелиорируемых земель Кабардино-Балкарской республики. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2021. 168 с.
8. 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.
9. Аверченков В. И., Горленко О. А. Проектирование технологических процессов на основе системного подхода. Брянск: БИТМ, 1986. 87 с.
10. Шекихачев Ю. А., Шогенов Ю. Х. Оценка уровня механизации технологического процесса скашивания растительности при проведении мелиоративных работ // В сборнике: Роль науки и технологий в обеспечении устойчивого развития АПК. Сборник научных трудов по итогам IX Международной научно-практической конференции. Нальчик, 2021. С. 229–233.
11. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. 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
12. 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.

References

1. Shekikhacheva L.Z., Eziev M.I. Metodicheskie podhody k proektirovaniyu kompleksov protivooerozion-nyh meropriyatij v Kabardino-Balkarskoj respublike. *AgroEkoInfo*. 2021;5(47). P. 12. (In Russ.)
2. Shekikhacheva L.Z. Scientifically based principles of soil protection system of agriculture. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;4 (34):86–90. (In Russ.)
3. Shekikhacheva L.Z. Methodological approaches to the assessment of the ecological state of the soil. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):23–34. (In Russ.)
4. Shekikhacheva L.Z. Conceptual basis of combating wind erosion of soils. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;1(31):108–112. (In Russ.)
5. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Fiapshev A.G., Shekikhacheva L.Z. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia. *Journal of Physics: Conference Series*. 1889. 2021. 032033.
6. Apazhev A.K., Dzhankozov Dzh.I., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Mishkhozhev V.Kh. [et al.] *Problemy i perspektivy vovlecheniya v hozyajstvennyj oborot beskhozyajnyh melioriruemyyh zemel' Kabardino-Balkarskoj respubliki* [Problems and prospects of involvement in the economic turnover of

ownerless reclaimed lands of the Kabardino-Balkarian Republic]. Nal'chik: Kabardino-Balkarskij GAU, 2021. 184 p. (In Russ.)

7. Apazhev A.K., Dzhankezhov Dzh.I., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Mishkhozhev V.Kh., Balkizov A.B., Sasikov A.S., Shekikhacheva L.Z. *Rekomendacii po vovlecheniyu v hozyajstvennyj oboro beskhozyajnyh melioriruemyh zemel' Kabardino-Balkarskoj respubliki* [Recommendations on the involvement in the economic turnover of ownerless reclaimed lands of the Kabardino-Balkarian Republic]. Nal'chik: Kabardino-Balkarskij GAU, 2021. 168 p. (In Russ.)

8. Mishura E.V. An integrated approach to optimizing technological operations of machining based on the use of neural network technologies. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Collection of reports of the International scientific conference]. Kramatorsk, 2005:83–87. (In Russ.)

9. Averchenkov V.I., Gorlenko O.A. *Proektirovanie tekhnologicheskikh processov na osnove sistemnogo podhoda* [Design of technological processes based on a systematic approach]. Bryansk: BITM, 1986. 87 p. (In Russ.)

10. Shekikhachev Yu.A., Shogenov Yu.Kh. Assessment of the level of mechanization of the technological process of mowing vegetation during land reclamation work. *V sbornike: Rol' nauki i tekhnologii v obespechenii ustojchivogo razvitiya APK. Sbornik nauchnyh trudov po itogam IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati zaslužennogo deyatelya nauki RF i KBR, professora B.Kh. Zherukova* [In the collection: The role of science and technology in ensuring the sustainable development of the agro-industrial complex. Collection of scientific papers based on the results of the IX International Scientific and Practical Conference]. Nal'chik, 2021:229–233. (In Russ.)

11. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Yu.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.

12. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Optimizing the functioning of agricultural production systems. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):81–89. (In Russ.)

Сведения об авторах

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 ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019.

Магомедов Фахретдин Магомедович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джембулатова», SPIN-код: 4768-7736, Author ID: 373253.

Information about the authors

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

Fakhretdin M. Magomedov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Operation of Automobiles, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, SPIN-code: 4768-7736, Author ID: 373253.

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 21.04.2022;
одобрена после рецензирования 06.05.2022;
принята к публикации 11.05.2022.*

*The article was submitted 21.04.2022;
approved after reviewing 06.05.2022;
accepted for publication 11.05.2022.*