

Научная статья

УДК 631.3:620.197(470.64)

doi: 10.55196/2411-3492-2024-1-43-88-98

Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники в условиях КБР

Руслан Асланбиевич Балкаров¹, Хачим Хазраилович Ашабоков^{✉2}

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

¹rus.balkarov.52@mailru, <https://orcid.org/0000-0002-8946-7867>

^{✉2}hachik917@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы обеспечения сохраняемости сельскохозяйственной техники и защита их от коррозионных процессов. Проведен анализ хранения и противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники. Дана оценка факторов, влияющих на процессы коррозии и коррозионно-механического изнашивания в условиях сельскохозяйственного производства КБР. Представлены основные оценочные показатели сохраняемости машин и зерноуборочных комбайнов. Разработана краткая методика оптимизации сохраняемости машин. Рассмотрены общие принципы системы обеспечения сохраняемости машинно-тракторного парка в нерабочий период. Изучены характер и особенности коррозионных разрушений деталей и сборочных единиц сельскохозяйственной техники. В результате выявлены детали и сборочные единицы, наиболее подверженные коррозии и износу. Выявлено, что 70-80% деталей машин выходят из строя вследствие совместного воздействия атмосферной коррозии и механических нагрузок. Из них 20-25% приходится на долю поломок от перегрузок при работе вследствие потери прочности из-за атмосферной коррозии. Сделана классификация атмосферы по уровню загрязнений и типовых сельскохозяйственных сред по степени опасности коррозионных воздействий. Приведены данные коррозионной активности минеральных удобрений в год. Описан механизм коррозионно-механического изнашивания сопряжений сельскохозяйственной техники, дан характер разрушений и номенклатура сопряжений, наиболее подверженных данному разрушению.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, зерноуборочные комбайны, детали машин, хранение и сохраняемость машин, оценочные показатели, атмосферная коррозия, защита от коррозии, оптимизация методов сохраняемости машин

Для цитирования. Балкаров Р. А., Ашабоков Х. Х. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники в условиях КБР // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 1(43). С. 88–98. doi: 10.55196/2411-3492-2024-1-43-88-98

Original article

Preservation and corrosion protection of agricultural machinery in the conditions of KBR

Ruslan A. Balkarov¹, Khachim Kh. Ashabokov^{✉2}

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

¹rus.balkarov.52@mailru, <https://orcid.org/0000-0002-8946-7867>

^{✉2}hachik917@mail.ru

Abstract. The article discusses the main problems of ensuring the safety of agricultural machinery and protecting them from corrosion processes. The analysis of storage and anticorrosive protection of agricultural machinery is carried out. The assessment of the factors influencing the processes of corrosion and corrosion-mechanical wear in the conditions of agricultural production of KBR is given. The main estimated indicators of the safety of machines and indicators of the safety of combine harvesters are presented. A brief technique for optimizing machine retention has been developed. The general principles of the system for ensuring the safety of the machine and tractor fleet during the off-duty period are considered. The nature and features of corrosion damage of parts and assembly units of agricultural machinery have been studied. As a result, the parts and assembly units that are most susceptible to corrosion and wear have been identified. It was revealed that 70-80% of machine parts fail due to the combined effects of atmospheric corrosion and mechanical loads. Of these, 20-25% are due to breakdowns from overloads during operation due to loss of strength, due to atmospheric corrosion. The classification of the atmosphere according to the level of pollution and typical agricultural environments according to the degree of danger of corrosion effects is made. The data on the corrosion activity of mineral fertilizers per year are presented. The mechanism of corrosion-mechanical wear of agricultural machinery interfaces is described, the nature of the destruction and the nomenclature of the interfaces most confirmed for this destruction are given.

Keywords: agricultural machinery, combine harvesters, machine parts, storage and preservation of machines, estimated indicators, atmospheric corrosion, corrosion protection, optimization of machine preservation methods

For citation. Balkarov R.A., Ashabokov Kh.Kh. Preservation and corrosion protection of agricultural machinery in the conditions of KBR. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2024;1(43):88–98. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2024-1-43-88-98

Введение. В настоящее время особого внимания заслуживает развитие сельскохозяйственного машиностроения, насыщение сельскохозяйственных предприятий агропромышленного комплекса новой высокопроизводительной техникой, укрепление ремонтной базы в сельском хозяйстве [1]. Важной задачей является повышение качества надежности и долговечности машин. Ее решение неразрывно связано с сохраняемостью и улучшением противокоррозионной защиты и декоративного вида техники [2–8].

Сельскохозяйственные машины работают в атмосферных условиях, благоприятных для развития коррозии. Окружающая среда, воздействуя на изделия, вызывает коррозию металла, в результате чего уменьшаются его прочность и пластичность, а также ухудшаются другие физические и химические свойства [9]. Коррозионные повреждения металла снижают прочность сборочных единиц и деталей, что приводит к преждевременному выходу из строя машин и механизмов, следовательно, к дополнительным затратам на восстановление их работоспособности.

Следует отметить, что особенностью техники, занятой в сельскохозяйственном про-

изводстве, является ее сезонность. При длительном хранении техники, в особенности без ее консервации, имеют место разрушение и деформация ряда деталей и покрытий. В результате сельскохозяйственная техника простаивает, что ведет к существенным убыткам.

Коррозия наносит огромный ущерб сельскому хозяйству и развитию всего агропромышленного комплекса страны [10].

В нашей стране ведется колоссальная работа по борьбе с коррозией. Для предохранения от коррозии металлических и неметаллических изделий используют новые коррозионно-стойкие конструкционные материалы, защитные покрытия (металлические, лакокрасочные, неорганические, полимерные), электрохимическую защиту, ингибиторы и др. При этом соблюдают специальную технологию, применяют соответствующие приспособления и аппаратуру.

Борьба с коррозией представляет серьезную экономическую проблему, для решения которой нужно знать механизм коррозии и влияющие на неё факторы.

Цель исследования – снижение атмосферных коррозионных процессов при экс-

плуатации и хранении сельскохозяйственных машин и оборудования.

Материалы, методы и объекты исследования. Объектами исследования являются коррозионные процессы разрушения деталей и сопряжений машин, сборочных единиц и элементов конструкции под воздействием различных внешних факторов, а также влияние их на надежность сельскохозяйственных машин и оборудования. Исследования проводятся на результатах анализа хранения машин и противокоррозионной защиты сельхозтехники, а также оценки других факторов, влияющих на процессы атмосферной коррозии в условиях сельскохозяйственного производства Кабардино-Балкарской Республики.

Результаты исследования. Коррозия – самопроизвольное разрушение материалов в результате химического и физико-химического воздействия окружающей среды. Коррозионному разрушению подвергаются металлы, каменные материалы, бетон, некоторые виды пластмассы и др. Основной конструкционный материал, используемый для сельскохозяйственной техники, – металл. Коррозионные повреждения часто являются причиной уменьшения прочности сборочных единиц и элементов конструкции, а, следовательно, ненадежной работой и преждевременного выхода из строя машин и механизмов, чрезмерно высокой стоимости их ремонтов.

Антикоррозионная защита сельскохозяйственной техники обеспечивает безаварийность и долговечность ее работы, экономию материальных и финансовых средств на восстановление работоспособности техники.

Оценка коррозионных потерь.

Коррозионные потери (критерий коррозионной стойкости) можно оценивать несколькими способами. При этом определяют величину и степень развития коррозии. Наиболее часто используется оценка по изменению (уменьшению или увеличению) массы испытываемых образцов.

Потери металла за весь период испытаний определяются разностью массы образца после удаления продуктов коррозии и первоначальной массы. Указанные потери определяются площадью подверженной коррозии поверхности и продолжительностью испытаний.

При проведении испытаний наиболее часто применяется единица, выражающая потери массы в миллиграммах на 1 дм^2 испытываемой поверхности в течение суток. В этом случае принимаются следующие допущения:

- процесс коррозии протекает с постоянной скоростью;
- распространение коррозии однородно по всей поверхности испытываемого образца.

Оценка старения лакокрасочных покрытий и атмосферостойкости проводится лабораторными испытаниями в камерах искусственного климата, длительными многочасовыми натурными испытаниями в условиях коррозии.

Важно учитывать, что во многих случаях внешняя среда оказывает значительно большее влияние на скорость коррозии, чем состав или состояние металла.

Степень коррозионного поражения образцов определяется измерением толщины слоя и массы продуктов коррозии по формулам:

$$K = \Delta P / FT, \quad (1)$$

$$\delta = K \cdot 10^{-3} / d, \quad (2)$$

где:

K – скорость коррозии в год, $\text{г}/\text{м}^2$;

ΔP – коррозионные потери, г ;

F – поверхность образца, м^2 ;

T – время испытаний, годы;

δ – величина (глубина) коррозионного поражения в год, мм ;

d – плотность металла, $\text{г}/\text{см}^3$.

Влияние коррозионной среды оценивается по следующей формуле:

$$\Delta \delta = \delta^B - 1(N) - \delta^{KC} - 1(N), \quad (3)$$

где:

$\delta^B - 1(N)$ – циклическая прочность на воздухе;

$\delta^{KC} - 1(N)$ – циклическая прочность в коррозионной среде.

Оценить влияние предварительной коррозии можно по следующей зависимости:

$$\Delta \delta = \delta_{-1(N)} - \delta^{ПК} - 1(N), \quad (4)$$

где:

$\delta_{-1(N)}$ – циклическая прочность исходного металла;

$\delta^{ПК} - 1(N)$ – циклическая прочность после предварительной коррозии.

Потери прочности испытываемых образцов (относительные значения) определяются по формулам:

$$\Delta\delta_{\text{кк}} = \frac{\delta^{\text{в}}-1(N)-\delta^{\text{кк}}-1(N)}{\delta^{\text{в}}-1(N)} \cdot 100\%, \quad (5)$$

$$\Delta\delta_{\text{пк}} = \frac{\delta^{\text{в}}-1(N)-\delta^{\text{пк}}-1(N)}{\delta^{\text{в}}-1(N)} \cdot 100\%. \quad (6)$$

При длительных испытаниях ($10^6 - 10^7$ циклов) начинают проявляться разрушающее воздействие вне коррозионной среды и ее влияние на усталость.

Железоуглеродистые сплавы металлоконструкции уборочных комбайнов испытывают циклические нагрузки при частоте 3-15 Гц.

Напряжения изгибов растяжения и сжатия достигают максимальных значений при 8-10 Гц. В связи с этим при проведении испытаний следует обеспечить частоты изгиба образцов порядка 500 цикл/мин.

Оценочные показатели сохраняемости машин приведены в таблице 1.

Показатели сохраняемости зерноуборочных комбайнов приведены в таблице 2.

Таблица 1. Оценочные показатели сохраняемости машин [11]
Table 1. Estimated indicators of machine safety [11]

Показатели	Расчетная формула	Обозначение
1	2	3
Коэффициент сохраняемости	$K_{xp} = 1 - \frac{[W_0 - W_x]}{W_0}$	W_0, W_x – соответственно, параметры технической характеристики до и после хранения
Трудоемкость при хранении: суммарная ТО удельная	$S_{xp} = \sum_{i=1}^n S_{xpi}$ $S_{xp}^{yd} = S_{xp}/t$	S_{xpi} – трудоемкость i вида при хранении машин; t – наработка машины в часах (моточасах) чистой работы за определенный период
Суммарная стоимость работ по ТО при хранении	$C_{xp} + S_{xp}\Pi_{xp}K_{нт} + C_1F_{xp}E_{H1} + C_2V_{xp}E_{H2}C_{мхр} + \sum_{j=1}^N C_{об}$	Π – часовая тарифная ставка; $K_{нт}$ – коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату; C_1, C_2 – стоимость 1 м ² площади, 1 м ³ объема с площади и объем складского помещения; E_{H1}, E_{H2} – нормативные коэффициенты; $C_{мхр}$ – стоимость приведенных затрат на одно место хранения; $C_{об}$ – суммарная стоимость приведенных затрат на СТО
Коэффициент: коррозионной стойкости	$K_{км} = P_{км}/P_m$	$P_{км}, P_m$ – масса (площадь) элементов из коррозионно-стойких материалов и машин
приспособленности машин к открытому хранению	$K_{от} = 1 - V_{xp}/V_3$	V_{xp}, V_3 – объемы закрытого помещения для хранения машины
потребность в расконсервации и консервации	$K_p = 1 - (a_p/a_k)$	a_p, a_k – количество расконсервации и консервации
компактности	$K_k = F_1/F_{xp}$	F_1 – площадь, определяемая габаритными размерами

Продолжение таблицы 1

1	2	3
потребности в доставках	$K_k = 1(C_v + C_{уп})/C_{хр}$	$C_v, C_{уп}$ – стоимость подставок и затраты на установку, снятие и хранение машины
Конструктивной законности машин	$K_o = 1 - \frac{S_\delta + S_{тр} + S_{уст}}{S_0 + S_\delta + S_{тр} + S_{уст}}$	$S_0, S_\delta, S_{тр}, S_{уст}$ – трудоемкости соответственно основная балластная при демонтаже, транспортирования к месту хранения и установки узла на хранение отдельно от машины
уровня механизации работ	$K_{мех} = N_{мех}/N_{общ}$	$N_{мех}, N_{общ}$ – число механизированных операций и общее число операций при хранении
Унификации консервационных материалов	$K_{ук} = N_\varepsilon/N_{хр}$	$N_\varepsilon, N_{хр}$ – количество эксплуатационных материалов и материалов, применяемых при хранении машин
Технологичность операций хранения	$K_{тех} = \frac{N_{осн}}{S_{осн} + S_{вс}}$	$S_{осн}, S_{вс}$ – трудоемкость основных и вспомогательных работ при обеспечении сохранности машин
Комплексный показатель сохраняемости машин	$K_\Sigma = \sum_{i=1}^T \Pi_i K_i$	$\Pi_i K_i$ – весомость и значение i показателя

Таблица 2. Показатели сохраняемости зерноуборочных комбайнов
Table 2. Indicators of the preservation of combine harvesters

Показатели	«Дон-1500», нормативный	«Дон-1200», фактический	СК-5, СКД-5, СК-6	
			нормативный	фактический
Средняя суммарная оперативная трудоемкость хранения, чел.-ч	35	45	35	50
Коэффициент: учитывающий коррозионную стойкость конструкции $K_{км}$	0,75	0,03	0,75	0,03
стоимости противокоррозионной защиты при хранении новых машин $K_{пкз} = \frac{C_{пкз}}{C_{пкз}}$	0,20	0,10	0,20	0,10
обеспеченности средствами герметизации $K_{гр}$	0,85	0,45	0,85	0,25
Показатель технологичности $K_{тех}$	0,80	0,60	0,80	0,50

Оптимизация методов сохраняемости машин. Методика оптимизации заключается в отыскивании минимума издержек затрат, связанных с ТО машин в процессе хранения и ТОР в процессе эксплуатации ($C_{тор}$):

$$C = C_x + (C_{тор}) \rightarrow \min \quad (7)$$

или (для определения оптимизируемого i показателя K_i):

$$C_i = \oint i(K_i) + P_i(K_i) \rightarrow \min, \quad (8)$$

где:

ϕ_i, P_i – символы функциональных зависимостей.

Сохраняемость машин будет наилучшей с технико-экономической точки зрения, если ее показатели будут близкими к обоснованным. Зависимость между единичным показателем сохраняемости K_i и затратами на подготовку техники к хранению C_x можно выразить в виде

$$C_x = \phi_i(K_i) = \alpha_i(1 - K_i)^{b_i} + C_i, \quad (9)$$

где:

α_i, b_i, C_i – параметры.

При этом методом “наименьших квадратов” осуществляется определение параметров по стандартной программе. Текущие значения K_i и C_i устанавливаются расчетами с применением технологических карт хранения. Чем точнее при подготовке машин к хранению будут выполнены технологические операции, обуславливающие сохранность, тем меньше окажутся затраты на техническое обслуживание и ремонт в процессе использования [12, 13].

Качество подготовки техники к хранению приближенно можно представить показателем сохраняемости с его текущим значением, находящимся между верхним и нижним пределами [7]. Отсюда

$$C_{\text{тор}} = A_i(1 - K_i)^{B_i} + C_i \quad (10)$$

где:

A_i, B_i, C_i – параметры зависимости.

После выявления зависимостей (9) и (10) между показателями сохраняемости машин и качеством этой подготовки представляется возможным произвести оптимизацию показателей сохраняемости. Для этого отыски-

вают и приравнивают к нулю первую производную сумму правых частей выражений (9) и (10). После несложных преобразований получают

$$K_i^{\text{опт}} = 1 - \left(-\frac{a_i b_i}{A_i B_i} \right)^{\frac{1}{B_i - b_i}} \quad (11)$$

Классификация атмосферы по уровню загрязненности. Обобщение теоретических и экспериментальных исследований по коррозии металла в условиях открытой атмосферы дает возможность сформулировать общие закономерности, позволяющие прогнозировать возможные потери из-за коррозии. Главным образом скорость коррозии определяется параметрами $\sum \tau_{\phi_3}$ и C_x .

Зависимость коррозии K ($\text{г}/\text{м}^2$ в год) от времени влияния влаги и концентрации коррозионно-активных примесей имеет вид:

$$K = \alpha(CsO_2)^b \sum \tau_{\phi},$$

$$K = [K_0 + (B_{\text{Cl}} C_{\text{Cl}})] \sum \tau_{\phi}, \quad (12)$$

где:

K_0 – скорость коррозии в условно чистой атмосфере, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

B_{Cl} – ускорение коррозии металла Cl-ионами, $\frac{\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})}{\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})}$;

C_{Cl}, CsO_2 – концентрация хлоридов и сернистого газа;

a и b – коэффициенты.

Коэффициенты для расчета коррозионной стойкости различных металлических материалов представлены в таблице 3.

В таблице 4 приведена классификация атмосферы по уровню коррозионно-активных загрязнений.

Таблица 3. Значение констант a, b, K_0 и B_{Cl}
Table 3. The value of constants a, b, K_0 and B_{Cl}

Материал	$a \cdot 10^3, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	b	$K_0 \cdot 10^3$	$\frac{B_{\text{Cl}} \cdot 10^3, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})}{\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})}$
Сталь	549,3	0,52	44,00	5,60
Цинк	50,6	0,75	2,80	0,70
Алюминий	0,6	0,50	0,11	0,15

Таблица 4. Классификация атмосферы по уровню загрязнений
Table 4. Classification of the atmosphere according to pollution level

Атмосфера	Концентрация	
	SO ₂ , мг/м ³	С ₁ , мг/(м ² в сутки)
Сельская	0,015	0,3
Городская	0,016-0,200	1,0
Промышленная	0,201-0,500	1,0
Приморская	0,015	1,0-20,0

Кинетику атмосферной коррозии стали, цинка и алюминия можно оценить по зависимости:

$$K = AT^B, \quad (13)$$

Таблица 5. Классификация типовых сельскохозяйственных сред по степени опасности коррозионных воздействий
Table 5. Classification of typical agricultural environments according to the degree of danger of corrosion

Группа коррозионной опасности	Тип среды и ее особенности	Значение коррозионных потерь углеродистой стали Ст 3 в год	
		г/м ²	мкм
I	Открытая атмосфера: зона умеренного климата	100-217	13-28
	зона холодного климата	90-110	11,5-14
II	Атмосфера животноводческого помещения коровник	440-640	56-82
	свинарник	558-721	71-92
	птичник	500-600	64-76
III	Среда минеральных удобрений и ядохимикатов: суперфосфат	350-380	35-40
	аммиачная селитра	380-400	38-50
	нитрофоска	850-900	100-120
	сульфат аммония	910-1100	125-145
	медный купорос	1900-2100	250-270

Наиболее коррозионными опасными являются минеральные удобрения и ядохимикаты. В связи с этим наибольший практический интерес представляют исследования по оценке значений и скорости коррозионных разрушений более распространенных метал-

где:

K – потери массы, г/м²;

T – время экспозиции, год;

A и B – коэффициенты.

На основе обобщения экспериментальных результатов Институтом физической химии систематизированы данные о коррозионной стойкости в открытой атмосфере низкоуглеродистой стали, цинка и алюминия в различных климатических районах.

Примерно 70-80% деталей сельхозмашин выходят из строя под влиянием атмосферной коррозии и механических нагрузок. При этом доля поломок от перегрузок из-за потери прочности деталей от атмосферной коррозии составляет 20-25%.

Классификация сред и типичных узлов и деталей сельхозмашин по видам коррозионных разрушений приведена в таблице 5.

лических материалов машин в коррозионных средах удобрений. Исследования, выполненные ЦНИИМЭСХ и ГОСНИТИ, позволили классифицировать коррозионную активность наиболее часто применяемых удобрений (табл. 6).

Таблица 6. Коррозионная активность минеральных удобрений в год
Table 6. Corrosion activity of mineral fertilizers per year

Удобрение	Скорость коррозии стали, г/м ²		
	Ст 3	45	У8
Медный купорос	2078	2942	2265
Сульфат аммония	1055	1294	1215
Нитрофоска	887	984	933
Сильвинит	574	602	651
Аммиачная селитра	400	552	361
Простой суперфосфат	359	373	339
Мочевина	342	372	353
Гранулированный суперфосфат	338	351	318

Обследования машин, подвергнувшихся коррозии, доказали, что наиболее часто и интенсивно разрушаются те части детали, которые расположены внизу, имеющие более продолжительный и длительный контакт с почвой. Например, глубина коррозии не

обработанного антикоррозионной защитой (незаконсервированного) плужного лемеха достигает примерно 120 мкм в год. При этом потери от коррозии составляют 25-35 г на лемех, или 1,5-2% – от его общей массы (табл. 7) [14].

Таблица 7. Детали машин, наиболее подверженные коррозионно-механическим разрушениям
Table 7. Machine parts that are most susceptible to corrosion and mechanical damage

Машина	Деталь (узел)	Значение коррозии за год при отсутствии консервации		Срок службы, годы	
		г/м ²	мкм	фактический	нормативный
Зернофуковые сеялки СЗТ-3,6, СЗС-2,1	Ящики для высева и удобрений, клапаны и катушки туковысевающих аппаратов, цепи, валы	250-400	40-60	3-4	8
Культиваторы КРН-5,6, УСМК-5, КРН-4,2	Рабочие органы, емкости для удобрений, крепеж	250-500	40-70	2-3	7-8
Плуги ПН-8-35, ПН-4-35	Лемех, рама, детали креплений	350-550	70-120	1-2	3
Дождевальные установки ДДН-70, ДДН-100, ДКШ-64	Пружины Дождевальных аппаратов и механизмов самоустановки, детали крепежа	250-350	30-60	4	7-8

Выводы. Проведенный анализ сохранности, хранения и противокоррозионной защиты сельскохозяйственных машин показал

детали сборочных единиц и элементов конструкции, наиболее подверженные коррозии и износу. Установлено, что под влиянием

атмосферной коррозии и механических нагрузок из строя выходят примерно 70-80% деталей сельхозмашин. При этом доля поломок от перегрузок из-за потери прочности механизмов от атмосферной коррозии составляет 20-25%.

Выявлено, что вследствие коррозионных разрушений при хранении и эксплуатации повышаются простои сельскохозяйственной техники и соответственно растёт трудоемкость их ремонта и технического обслуживания.

Список литературы

1. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Дзуганов В. Б., Шекихачева Л. З., Чеченов М. М., Шекихачев А. А. Основные направления повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники // *АгроЭкоИнфо*. 2022. № 4 (52). DOI: 10.51419/202124418. EDN: YBMHMC
2. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Егожев А. М., Фиапшев А. Г., Барагунов А. Б. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин // *Техника и оборудование для села*. 2023. № 4(310). С. 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. EDN: NHJDDY
3. Мисиров М. Х. Определение напряженно-деформированного состояния и разрушающей силы при резании хрупких материалов // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2019. № 4(26). С. 63–68.
4. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Пазова Т. Х., Губжоков Х. Л., Фиапшев А. Г. Математическое моделирование технологических процессов сборки в машиностроительном и ремонтном производстве // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. N2(151). С. 65–74. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-65-74. GKSKXJ.
5. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Пазова Т. Х., Фиапшев А. Г., Барагунов А. Б. Методика прогнозирования долговечности агрегатов и узлов машин по показателям долговечности их элементов // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2023. № 2 (43). С. 92–100. DOI: 10.35523/23075872202343292100.
6. Егожев А. М., Апажев А. К., Мисиров М. Х., Полищук Е. А., Егожев А. А. Метод расчета на прочность грузонесущих резьбовых соединений сельскохозяйственных машин и орудий // *Сельский механизатор*. 2020. № 12. С. 38–39. EDN: OAVYWT
7. Тавасиев Р. М., Дзищоев А. П. Повышение надежности и долговечности тормозных систем автомобилей в колесном гидроцилиндре // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2023. № 2(40). С. 97–103. DOI: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-97-103.
8. Жирикова З. М., Алоев В. З. Исследование прочности конструкционных материалов деталей сельскохозяйственных машин // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2023. № 1(39). С. 117–123. DOI: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-117-123.
9. Шекихачев Ю. А., Батыров В. И., Шекихачева Л. З., Болотоков А. Л. Экологические требования к автотранспортным средствам // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2019. № 4(26). С. 75–80. EDN: AANADS
10. Северный А. Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники. Москва: ГОСНИТИ, 1993. 232 с.
11. Кормановский Л. П. Энергосбережение – первостепенная задача в предстоящем столетии // *Техника в сельском хоз-ве*. 1999. № 4. С. 3–6.
12. Балкаров Р. А., Балкаров А. Р. Результаты обоснования рационального режима работы специализированного звена по техническому обслуживанию и устранению отказов средств для уборки фруктов // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2021. № 4(34). С. 72–79. EDN: WBUPOP
13. Джолабов Ю. Ш., Карданов Х. Б. Агрегатный метод ремонта: перспективы его применения в современном ремонтном производстве // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2020. № 1(27). С. 93–97.
14. Халфин М. А., Халфин С. М. Перспективы сохранения МТП в России // *Тракторы и сельхозмашины*. 1999. № 5. С. 2–6.

References

1. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Dzuganov V.B., Shekikhacheva L.Z., Chechenov M.M., Shekikhachev A.A. The main directions for increasing the efficiency of the use of agricultural machinery. *AgroEkoInfo*. 2022;4 (52). (In Russ.). DOI: 10.51419/202124418. EDN: YBMHMC

2. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Yegozhev A.M., Fiapshev A.G., Baragunov A.B. Improving the operational reliability of agricultural machines. *Machinery and equipment for rural area*. 2023;4 (310):12–16. (In Russ.). DOI: DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. EDN: HHJDDY
3. Misirov M.Kh. Determination of stressed-deformed state and destructive forces during cutting fragile materialov. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2019;4(26):63–68. (In Russ.).
4. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Pazova T.Kh., Gubzhokov Kh.L., Fiapshev A.G. Mathematical model of technological assembly processes in machine-building and repair production]. *Machinery technical service*. 2023;61(2): 65–74. (In Russ.). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-65-74. GKSKXJ.
5. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Pazova T.Kh., Fiapshev A.G., Baragunov A.B. Methodology for predicting the durability of units and machine components based on the durability of their elements. *Agrarian journal of Upper Volga region*. 2023;2(43):92–100. (In Russ.). DOI: 10.35523/23075872202343292100.
6. Egozhev A.M., Apazhev A.K., Misirov M.Kh., Polishchuk E.A., Egozhev A.A. Method for calculating the strength of load-bearing threaded connections of agricultural machines and implements. *Selskiy mekhanizator*. 2020;(12):38-39. (In Russ.). EDN: OAVYWT
7. Tavasiev R.M., Dzitstsoev A.P. Strength study of metal-quartz composite material. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2023;2(40):97–103. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-97-103.
8. Zhirikova Z.M., Alov V.Z. Study of the strength of structural materials of agricultural machinery parts. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2023;1(39):117–123. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-117-123.
9. Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I., Shekikhacheva L.Z., Bolotokov A.L. Environmental requirements for motor vehicles. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2019;4(26):75-80. (In Russ.). EDN: AANADS
10. Severnyy A.E. Storability and corrosion protection of agricultural machinery. Moscow: GOSNITI, 1993. 232 p. (In Russ.)
11. Kormanovsky L.P. Energy saving is a primary task in the coming century. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1999;(4):3–6. (In Russ.)
12. Balkarov R.A., Balkarov A.R. The results of substantiation of the rational mode of operation of a specialized unit for maintenance and elimination of failures of means for harvesting fruits. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;4(34):72-79. (In Russ.). EDN: WBUPOP
13. Dzholabov Yu.Sh., Kardanov Kh.B. Aggregate repair method: prospects of its applications in modern repair production. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1(27):93–97. (In Russ.).
14. Khalfin M.A., Khalfin S.M. Prospects for maintaining transport equipment in Russia. *Traktory i selskokhozyaystvennye mashiny* [Tractors and Agricultural Machinery]. 1999;(5):2–6. (In Russ.)

Сведения об авторах

Балкаров Руслан Асланбиевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1074-2232, Scopus ID: 6505576211, Researcher ID: AAB-3748-2020

Ашабоков Хачим Хазраилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 7421-4358, Scopus ID: 57219057974

Information about authors

Ruslan A. Balkarov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of technology of maintenance and repair of machines in the agro-industrial complex, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1074-2232, Scopus ID: 6505576211, Researcher ID: AAB-3748-2020

Khachim Kh. Ashabokov – Candidate of technical sciences, associate professor of the department technology of maintenance and repair of machines in the agro-industrial complex, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 7421-4358, Scopus ID: 57219057974

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования 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 of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

*Статья поступила в редакцию 21.02.2024;
одобрена после рецензирования 06.03.2024;
принята к публикации 15.03.2024.*

*The article was submitted 21.02.2024;
approved after reviewing 06.03.2024;
accepted for publication 15.03.2024.*