

Научная статья

УДК 621.45.034.3

doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-93-99

Исследование параметров технического состояния распылителей дизельных форсунок

Анзор Леонидович Болотоков^{✉1}, Хусен Лелович Губжоков²

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

^{✉1}Anzor.n@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-4072>

²gubzh69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9556-2895>

Аннотация. Анализ технического состояния многоструйных распылителей поступающей на ремонт топливной аппаратуры тракторных дизелей показывает, что отказы из-за нарушения подвижности иглы составляют у 27% форсунок, из которых 17% обусловлены схватыванием металла, 10% – закоксовыванием. Вследствие анализа эксплуатационных испытаний было выявлено, что наибольшая скорость снижения давления начала подъема иглы распылителя наблюдается в первые 500-700 часов работы двигателя. В процессе эксплуатации форсунок нарушается герметичность запирающего конуса распылителя, происходит зависание и износ иглы распылителя, падение давления начала впрыска, закоксовывание и износ распыливающих отверстий распылителя, ухудшение качества распыливания топлива. Для определения износостойкости распылителей форсунок были проведены сравнительные ускоренные стендовые испытания. В Центральном научно-исследовательском и конструкторском институте топливной аппаратуры автотракторных и стационарных двигателей (ЦНИТА) был разработан метод ускоренных испытаний, позволяющий прогнозировать технический срок службы опрыскивателей. Это позволяет сравнивать оценки износостойкости экспериментальных и серийных распылителей форсунок. После 1000 часов работы давление продолжает снижаться, но интенсивность снижения с увеличением наработки уменьшается. Исследования показали, что форсунки выходят из строя, в основном, в результате снижения эффективного проходного сечения и потери герметичности запирающего конуса распылителя и заклинивание иглы в направляющей распылителей форсунок.

Ключевые слова: форсунка, распылитель форсунок, надежность, долговечность, работоспособность

Для цитирования. Болотоков А. Л., Губжоков Х. Л. Исследование параметров технического состояния распылителей дизельных форсунок // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 3(45). С. 93–99. doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-93-99

Original article

Investigation of technical condition parameters spray nozzles

Anzor L. Bolotokov^{✉1}, Husen L. Gubgokov²

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

^{✉1}Anzor.n@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-4072>

²gubzh69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9556-2895>

Abstract. An analysis of the technical condition of multi-jet sprayers supplied for repair of fuel equipment for tractor diesels shows that failures due to impaired needle mobility account for 27% of injectors, of which 17% are caused by metal setting, 10% by coking. As a result of the analysis of operational tests, it was revealed that the highest rate of pressure reduction at the beginning of the spray needle rise is observed in the first 500–700 hours of engine operation. During the operation of the injectors, the tightness of the locking cone of the sprayer is violated, the needle of the sprayer freezes and wears out, the pressure drop at the beginning of injection, coking and wear of the spray holes of the sprayer, deterioration of the quality of fuel spraying occurs. Comparative accelerated wall tests were carried out to determine the wear resistance of the nozzle sprayers. The Central Research and Design Institute of Fuel Equipment for Automotive and Stationary Engines (CNITA) has developed an accelerated testing method that allows predicting the technical service life of sprayers. This makes it possible to compare the wear resistance estimates of experimental and serial spray nozzles. After 1000 hours of operation, the pressure continues to decrease, but the intensity of the decrease becomes less with increasing operating time. Studies have shown that the injectors fail mainly as a result of a decrease in the effective flow section and loss of tightness of the locking cone of the atomizer and jamming of the needle in the nozzle guide.

Keywords: nozzle, spray nozzle, reliability, durability, operability

For citation. Bolotokov A.L., Gubgokov H.L. Investigation of technical condition parameters spray nozzles. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2024;3(45):93–99. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-93-99

Введение. Узлы и детали топливной аппаратуры всех дизелей относятся к менее надежным и более трудными в техническом обслуживании. Так, доля отказов топливной аппаратуры от общего числа отказов в эксплуатации составляет 20–50% при затратах на обслуживание и ремонт 20–30% от общих затрат. Большая часть работ по обслуживанию топливной аппаратуры проводится в период эксплуатации дизелей [1–4].

В процессе эксплуатации форсунок нарушается герметичность запирающего конуса распылителя, происходит зависание и износ иглы распылителя, падение давления начала впрыска, закоксовывание и износ распыляющих отверстий распылителя, ухудшение качества распыливания топлива.

В Кабардино-Балкарском ГАУ проведены исследования изменения технического состояния и ускоренные испытания распылителей форсунки ФД-22 серийного и опытного с измененной иглой распылителя [2–10].

Исходя из анализа исследований процесса износа форсунок, была поставлена **цель исследования** – определение влияния технического состояния распылителей дизельных форсунок на процесс топливоподачи.

Объект исследования – модернизированный распылитель форсунки дизеля.

Новизна результатов исследования – повышение надежности распылителя дизельной форсунки модернизацией иглы распылителя.

Для того чтобы реализовать поставленную цель исследования, необходимо решить **задачу** увеличения работоспособности распылителя форсунки.

Методы или методология проведения работ. Испытания проводились последовательно в несколько этапов.

В соответствии с методикой ускоренных испытаний, разработанной в ЦНИТА, в течение одного часа производились испытания топливной аппаратуры, которые приравнивались к 50 ч работы в полевых условиях. Весь эксперимент был разделен на десять часовых этапов, после каждого эксперимента двигатель непродолжительно работал на чистом топливе без примесей. Далее форсунки снимались со стенда и проводился контроль их технического состояния по следующим параметрам: ход иглы, гидроплотность, герметичность по запирающему конусу, качество распыления топлива. После завершения двух этапов были заменены плунжерные пары и отрегулирован топливный насос высокого давления марки УТН-5.

Эксперименты проводились на дизельном топливе ГОСТ 305 (температура топлива 34°–38°, плотность 0,823 г/мм³). Температура

масла, охлаждающей жидкости поддерживалась в пределах 80-90°C. Угол опережения впрыска был установлен, согласно заводской инструкции по эксплуатации, равным для 4Н11/12,5 – 24-27° в зависимости от угла поворота коленчатого вала. Начало давления впрыскивания топлива должно составлять по техническим условиям 17,5^{+0,5} МПа. На каждом контрольном этапе модернизированные форсунки регулировались в установленном порядке и в соответствии с техническими условиями. Проливкой были определены гидравлические характеристики топливопроводов топливной аппаратуры дизелей, а также нагнетательных клапанов. Температура топлива согласно ГОСТ 305-2013 была в пределах 34-38°C. Давление должно быть 0,5 МПа, и проверялось манометром с ценой деления 0,02 МПа. Расход топлива определялся весовым способом и проливкой на стенде. Масса навески составляла при этом 500 г. Время t_n наполнения навески определялось секундомером с ценой деления шкалы 0,2 с.

На рисунке 1 представлена схема направляющей части иглы модернизированного распылителя форсунки [10]. В серийных распылителях происходит жесткий удар, который приводит к контактному выкрашиванию рабочей поверхности.

В качестве индикатора процессов износ в деталях распылителя форсунок при испытании был оценен по снижению гидравлической плотности.

В качестве факторов приняли: X_1 – герметичность по запирающему конусу, мм²; X_2 – давление начала впрыска, с.

В таблице 1 представлены реальные и кодированные значения факторов.

Матрица планирования эксперимента приведена в таблице 2, в строках которой указаны номера опытов, в столбцах – факторы (в кодированном виде « X_1 » и « X_2 ») с реализацией всевозможных сочетаний этих факторов.

Определение технического состояния распылителей форсунок проводилось в научно-исследовательской лаборатории «Испытание дизельной и топливной аппаратуры» ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. В соединении деталей зазор измерялся

на ротаметре ЭМИС-МЕТА 215 и опикаторе 02П с ценой деления 0,2 мкр. Давление, создаваемое топливным насосом, было отрегулировано на номинальное значение подачи топлива и угол начального впрыска топлива. Эталонная топливопроводная магистраль и форсунка находились в номинальном режиме.

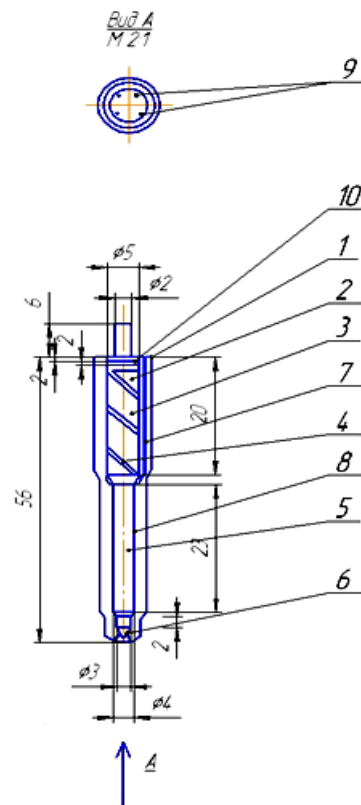


Рисунок 1. Топливная форсунка с винтовым каналом иглы:

1 – корпус; 2 – игла; 3 – направляющая часть иглы; 4 – винтовая канавка; 5 – несущая часть иглы; 6 – запорная часть иглы; 7 – топливоподающий канал; 8 – внутренняя полость корпуса; 9 – сопловые отверстия; 10 – кольцевая канавка

Figure 1. Fuel nozzle with a screw needle channel:

1 – housing; 2 – needle; 3 – guide part of the needle; 4 – screw groove; 5 – bearing part of the needle; 6 – locking part of the needle; 7 – fuel supply channel; 8 – inner cavity of the housing; 9 – nozzle holes; 10 – the annular groove

Для достоверности результатов эксперименты проводились в трехкратной повторности. Полученные результаты сравнивались с данными, полученными в экспериментах с серийной форсункой ФД-22 двигателя Д-240 с насосом УТН-5.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов
Table 1. Levels of variation of factors

Уровни	Факторы			
	герметичность по запирающему конусу, с		давление начало впрыска, МПа	
	X_1		X_2	
Верхний	30	+1	18	+1
Нижний	10	-1	3	-1
Основной	20	0	6	0
Интервал	10		3	

Подвижность иглы распылителей определялась на приборах КИ-35478, КИ-3333 и ПУФ-3 ЦНИТА, которые проходили производственные испытания. На приборе КИ-3333 все распылители показали их соответствие техническим условиям. Для исследования были отобраны распылители исходя из результатов предварительных замеров и результатов проливки с параметрами:

- ход иглы от 0,2 мм до 0,32 мм;

- в направляющей части зазор распылителя от 1,0 до 5,0 мкм;
- эффективное проходное сечение от 0,28 мм² до 0,32 мм².

На стенде КИ-35478 (рис. 2) производились испытания и регулировка исследуемых форсунок дизелей.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента
Table 2. Experiment planning matrix

Номер опыта	X	
	X_1	X_2
1	+1	+1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	-1	-1
5	+1	0
6	-1	+1
7	0	+1
8	0	-1
9	0	0

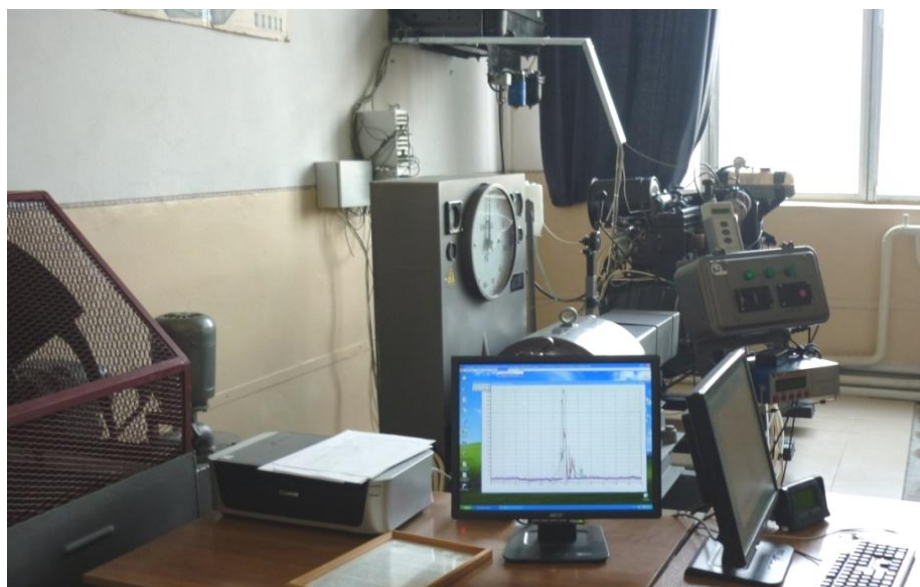


Рисунок 2. Стенд КИ-5543 для тормозных испытаний двигателей
Figure 2. Stand KI-5543 for brake testing of engines

Результаты исследования. Результаты исследования изменения эффективного проходного сечения модернизированных и серийных распылителей форсунок в зависимости от времени работы при стендовых ускоренных сравнительных износных испытаниях в условиях Кабардино-Балкарской Республики приведены в виде таблицы 3, 4 и на рисунке 3.

Из таблиц 3 и 4 видно, что качество распыливания, гидравлическая плотность всех распылителей практически не изменились.

Все распылители по данным, полученным прибором ПУФ-3 ЦНИТА, удовлетворяют по подвижности иглы техническим условиям.

Таблица 3. Таблица результатов регулировки форсунок (серийных)
Table 3. Table of results of adjustment of serial injectors

Показатели	Тип форсунки							
	К-1		К-2		К-3		К-4	
	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки
1. Давление начала впрыскивания, МПа	5	18	3	18	5	18	4	18
2. Герметичность по запирающему конусу, с	1	1	1,6	1,6	1,9	1,9	0,2	0,2
3. Наличие подтекания топлива на торце форсунки	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	небольшое	небольшое	отсутствует	отсутствует

Таблица 4. Таблица результатов регулировки форсунок (опытных)
Table 4. Table of results of adjustment experimental nozzles

Показатели	Тип форсунки									
	№1		№2		№3		№4		№5	
	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки	до регулировки	после регулировки
1. Давление начала впрыскивания, МПа	1	18	5	18	9	18	7	18	5	18
2. Герметичность по запирающему конусу, с	5,2	5,2	6	6	0,1	0,1	4,5	4,5	1,3	1,3
3. Наличие подтекания топлива на торце форсунки	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	сильное	сильное

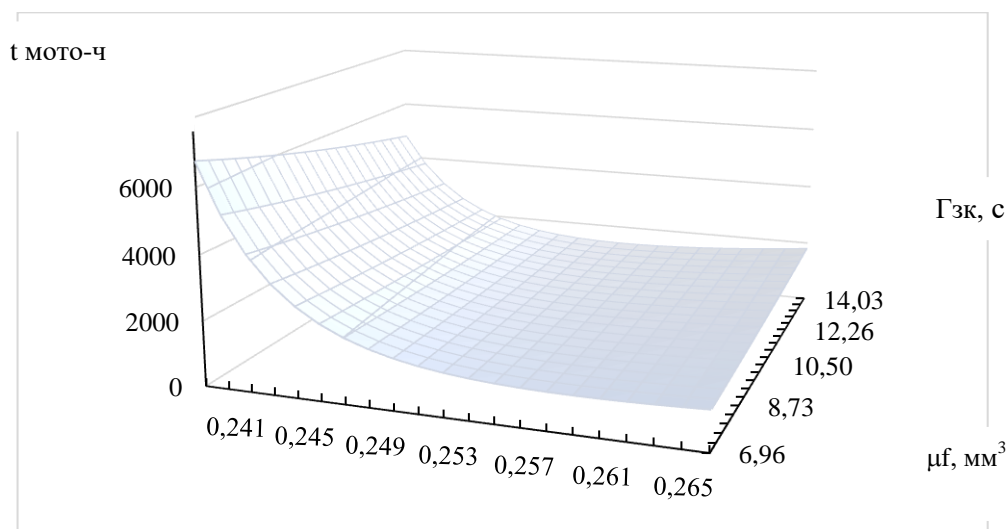


Рисунок 3. Изменение гидроплотности и эффективного проходного сечения в зависимости наработки
Figure 3. Changing the hydraulic density and effective flow section depending on the operating time

Вывод. Исследования показали, что форсунки выходят из строя, в основном, в результате снижения эффективного проходного сечения и потери герметичности запирающего конуса распылителя и заклинивания иглы в направляющей части распылителей форсунок.

Следовательно, работы, направленные на повышение стабильности топливоподачи и

надежности работы распылителей форсунок, имеют существенное значение в повышении эффективности использования дизелей.

Область применения результатов. Модернизированный распылитель форсунки повышает стабильность топливоподачи и рекомендуется использовать ремонтными предприятиями при обслуживании дизелей.

Список литературы:

1. Гурин Т. Ю. Повышение долговечности форсунок автотракторных дизелей модернизацией распылителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. 15 с.
2. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов: монография / Т. А. Лебедев, О. П. Наумов, Р. А. Магомедов, А. В. Захарин, П. А. Лебедев, Р. В. Павлюк. Ставрополь: Изд-во «АГРУС», 2015. 332 с. ISBN: 978-5-9596-1068-5. EDN: TERLQR
3. Шарифуллин С. Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизелей: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2009. 32 с.
4. Батыров В. И., Губжоков Х. Л., Болотков А. Л. Особенности работы дизеля в высокогорных условиях // Сельский механизатор. 2017. № 2. С. 31–32. EDN: ZDEDLX
5. Батыров В. И., Койчев В. С., Болотоков А. Л. Зависимость параметров топливоподачи от давления в полости питания ТНВД // Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. по материалам XII Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2016». Ставрополь, 2016. С. 252–256. EDN: VQTJCH
6. Батыров В. И., Болотоков А. Л. Повышение надежности работы распылителя форсунки дизелей // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 3. С. 12–15.
7. Лебедев А. Т., Болотоков А. Л., Лебедев П. А. Повышение долговечности распылителей форсунок автотракторных дизелей // Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 2(30). С. 34–37. EDN: UUNWOU
8. Lebedev A.T., Lebedev P.A., Apazhev A.K., Egozhev A.M., Bolotkov A.L. Improving the economy of diesel engines with the upgraded sprayer of the injector // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. № 6. Pp. 737–742. EDN: XFIBOQ
9. Батыров В. И., Губжоков Х. Л., Болотоков А. Л. Изменения параметров распыливающих отверстий форсунок автотракторных дизелей в эксплуатации // Молодёжный форум: технические и математические науки. Воронеж: Воронежский ГЛТУ, 2015. С. 83–85.
10. Пат. 2231673 Российская Федерация, МПК⁷ F02M 61/10. Распылитель дизельной форсунки / Ю. М. Хаширов, Х. У. Бугов, А. Л. Болотоков. заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия. № 2001131630/06; заявл. 22.11.2001; опубл. 27.06.2004, Бюл. № 15.

References

1. Gurin T.Yu. *Povysheniye dolgovechnosti forsunok avtotraktornykh dizeley modernizatsiyey raspylitele* [Increasing the durability of automotive diesel injectors by modernizing nozzles]: *avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* Novosibirsk, 2010. 15 p. (In Russ.)
2. Lebedev T.A., Naumov O.P., Magomedov R.A., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V. *Nadezhnost' i effektivnost' mashinno-traktornogo agregata pri vypolnenii tekhnologicheskikh protsessov: monografiya* [Reliability and efficiency of a machine-tractor unit when performing technological processes: monograph]. Stavropol: Izd-vo "AGRUS", 2015. 332 p. (In Russ.). ISBN: 978-5-9596-1068-5. EDN: TERLQR
3. Sharifullin S.N. *Povysheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti toplivnykh nasosov vysokogo davleniya avtotraktornykh dizeley* [Improving the operational reliability of high-pressure fuel pumps of automotive diesel engines]: *avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk.* Moscow, 2009. 32 p. (In Russ.)
4. Batyrov V.I., Gubzhokov H.L., Bolotkov A.L. Features of diesel engine operation in high-altitude conditions. *Selskiy mekhanizator*. 2017;(2):31–32. (In Russ.). EDN: ZDEDLX
5. Batyrov V.I., Koichev V.S., Bolotkov A.L. Dependence of fuel supply parameters on pressure in the feed cavity of the high pressure fuel pump. *Nauchno-tekhnicheskij progress v APK: problemy i perspektivy*:

sb. nauch. tr. po materialam KHII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsiya, v ramkakh XVIII Mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal-2016» [Scientific and technological progress in the agro-industrial complex: problems and prospects: collection. scientific tr. based on materials from the XII International Scientific and Practical Conference, within the framework of the XVIII International Agro-Industrial Exhibition "Agrouniversal-2016"]. Stavropol, 2016. Pp. 252–256. (In Russ.). EDN: VQTJCH

6. Batyrov V.I., Bolotokov A.L. Improving the reliability of the diesel nozzle atomizer. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2012;(3):12–15.

7. Lebedev A.T., Bolotokov A.L., Lebedev P.A. Increase of durability of injector nozzles automotive diesel engines. *Agricultural Bulletin of Stavropol region*. 2018;2(30):34–37. (In Russ.). EDN: UUNWOU

8. Lebedev A.T., Lebedev P.A., Apazhev A.K., Egozhev A.M., Bolotokov A.L. Improving the efficiency of diesel engines with an upgraded nozzle sprayer. *Scientific Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;RJPBCS 9(6):737–742. EDN: XFIBOQ

9. Batyrov V.I., Gubzhokov H.L., Bolotokov A.L. Changes in parameters of spraying holes of injectors of automotive diesel engines in operation. *Molodozhnyy forum: tekhnicheskiye i matematicheskiye nauki* [Youth Forum: technical and mathematical sciences]. Voronezh: Voronezhskiy GLTU, 2015. Pp. 83–85. (In Russ.)

10. Pat. 2231673 Russian Federation, ICI⁷ F02M 61/10. Diesel injector atomizer. Yu.M. Khashirov, Kh.U. Bugov, A.L. Bolotokov. applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy. No. 2001131630/06; appl. 22.11.2001; publ. 27.06.2004. Bulletin. No. 15. (In Russ.)

Сведения об авторах

Болотоков Анзор Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Агроинженерия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 7116-4270, Scopus ID: 57214128830, Researcher ID: GWZ-2036-2022

Губжиков Хусен Лелович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Агроинженерия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 2981-5729

Information about the authors

Bolotokov Anzor Leonidovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 7116-4270, Scopus ID: 57214128830, Researcher ID: GWZ-2036-2022

Gubzhikov Husen Lelovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov, SPIN-code: 2981-5729

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.

Authors contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of this article reviewed 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 15.05.2024;
одобрена после рецензирования 03.06.2024;
принята к публикации 14.06.2024.

The article was submitted 15.05.2024;
approved after reviewing 03.06.2024;
accepted for publication 14.06.2024.