Научная статья
УДК 631.372:621.43
DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-86-94

Улучшение показателей эффективности использования трактора МТЗ

Анзор Леонидович Болотоков✉[1], **Астемир Арсенович Танашев**[2]
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
[2]tanashev.job@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-0744-1734

Аннотация. Самой распространенной причиной выхода из строя распылителя форсунки является нарушение подвижности иглы из-за облитерации распыляющих отверстий. Для повышения показателей эффективности использования дизелей предложена модернизация иглы распылителя форсунок. Приведен анализ влияния изменения параметров топливной аппаратуры на показатели топливной экономичности дизельного двигателя. Применение распылителей дизельной форсунки с модернизированной иглой позволяет за счет наличия топлива в винтовом канале и зазоре смазывать, а также смягчать удар конуса иглы о седло корпуса (вместо прямого жесткого удара в серийных распылителях). Объем топлива в винтовом канале зависит от объема топлива в щели. При увеличении зазора коэффициент сопротивления щели не снижается ниже 0,4, поэтому объем винтового канала будет 0,5–0,9 от объема зазора. В результате получена зависимость коэффициента сопротивления щели от объема винтового канала. При суммарном зазоре, увеличенном в 2 раза (за счёт винтового канала), расход жидкости снижается на 20%, а коэффициент заращивания щели составляет 0,8–0,9. Определено влияние скорости вращения вала топливного насоса на цикловую подачу и неравномерность впрыскивания топлива. При угловой скорости вала 850–1100 об/мин неравномерность подачи топлива не превышала 1–2%. При снижении угловой скорости вращения до 400–800 об/мин неравномерность растёт до 2,7–16,1%.

Ключевые слова: дизельный двигатель, форсунка, распылитель, эффективность, модернизация, расход топлива

Для цитирования: Болотоков А. Л., Танашев А. А. Улучшение показателей эффективности использования дизеля трактора МТЗ // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2025. № 4(50). С. 86–94. DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-86-94

Original article

Improving the efficiency of using MTZ tractor

Anzor L. Bolotokov✉[1], **Astemir A. Tanashev**[2]
[2]Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030
✉[1]Anzor.n@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-2977-4072
[2]tanashev.job@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-0744-1734

© Болотоков А. Л., Танашев А. А., 2025

Abstract. The analysis of the effect of changes in fuel equipment parameters on the fuel efficiency of a diesel engine is presented. To improve the efficiency of diesel engines, an upgrade of the nozzle spray needle has been proposed. The use of diesel nozzle sprayers with an upgraded needle makes it possible, due to the presence of fuel in the screw channel and the gap, to lubricate and soften the impact of the needle cone on the housing seat instead of a direct hard impact than in serial sprayers. The volume of fuel in the screw channel depends on the volume of fuel in the slot. As the gap increases, the gap resistance coefficient does not decrease below 0.4, so the volume of the screw channel will be 0.5–0.9 of the gap volume. As a result, the dependence of the gap resistance coefficient on the volume of the screw channel is obtained. With the total gap increased by 2 times (due to the screw channel), the liquid flow rate is reduced by no more than 20%, and the gap overgrowth coefficient is 0.8–0.9. The effect of the rotation speed of the fuel pump shaft on the cyclic supply and the unevenness of fuel injection is determined. At an angular velocity of 850–1100 rpm, the fuel supply unevenness did not exceed 1–2%. When the angular velocity of rotation decreases to 400–800 rpm, the unevenness increases to 2.7–16.1%.

Keywords: diesel engine, nozzle, sprayer, efficiency, modernization, fuel consumption

For citation: Bolotokov A.L., Tanashev A.A. Improving the efficiency of using MTZ tractor. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2025;4(50):86–94. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-86-94

Введение. Общепринятыми показателями топливной экономичности дизелей являются: g_e – удельный расход топлива; г/кВт-ч; $M_{дв}$ – крутящий момент; кН, N_e – эффективная мощность кВт; $G_т$ – часовой расход топлива, кг/ч; $q_ц$ – цикловая подача, мм^3/цикл. Целесообразность применения тех или иных типов двигателей в различных наземно-транспортных комплексах определяется их мощностными и массогабаритными показателями, топливной экономичностью и простотой обслуживания. В машинно-тракторных агрегатах наиболее широкое применение получили дизельные двигатели.

В процессе эксплуатации со временем возникают неисправности, приводящие к снижению мощности, а также увеличению расхода топлива, токсичности и дымности отработавших газов [1, 2].

Узлы и детали топливной аппаратуры всех дизелей относятся к менее надежным и более трудным в техническом обслуживании. До 40% отказов дизелей происходит вследствие неисправностей именно топливных систем. Из них около 80% отказов приходится на форсунки. Форсунки являются наиболее слабым звеном топливоподающей аппаратуры тракторных дизелей. Средний ресурс дизельных форсунок составляет 2500–3000 моточасов, а ресурс плунжерных пар топливных насосов в 2 раза выше [3, 4].

Конструкция форсунки определяет качество смесеобразования и подачу горючей смеси в камеру сгорания. Качество распыления и впрыска топлива определяется геометрическими параметрами проточной части форсунки [5–7].

Наиболее распространенной причиной выхода из строя распылителя дизельной форсунки является нарушение подвижности иглы ввиду облитерации (заращивания) распыляющих отверстий, что снижает качество распыливания топлива [8–10].

Явление облитерации обусловлено отложением на твердых поверхностях каналов активных компонентов рабочей жидкости. Интенсивность заращивания каналов во многом зависит от загрязненности жидкости твердыми и вязкими включениями. При соизмеримости размеров частиц загрязнения с величиной зазора заращивание отверстий распылителя может произойти в течение 1 минуты [10].

Исходя из анализа эксплуатационных параметров дизельного двигателя трактора МТЗ была поставлена **цель исследования** – повышение топливной экономичности дизельного двигателя модернизацией распылителя форсунок.

Новизна результатов исследования – снижение неравномерности цикловой подачи топлива дизельного трактора МТЗ.

Материалы, методы и объекты исследования. Объект исследования – модернизированный распылитель форсунки дизеля.

Испытания проводились последовательно в несколько этапов. Неравномерность цикловой подачи топлива между цилиндрами двигателя может достигать 20%, что приводит к нарушению точности дозирования топлива, подаваемого в камеру сгорания и, как следствие, к повышенному расходу топлива.

Экспериментальная оценка топливной экономичности двигателя проводилась по значению цикловой подачи. Равномерность подачи топлива определяется объёмом топлива в щели распылителя и во многом зависит от загрязненности топлива. Для повышения качества распыления и смесеобразования топлива была предложена совершенствованная конструкция форсунки.

Совершенствование распылителя форсунки заключалось в нарезании винтовой канавки на направляющей части иглы (рис. 1). Новизна технического решения защищена патентом Российской Федерации [10].

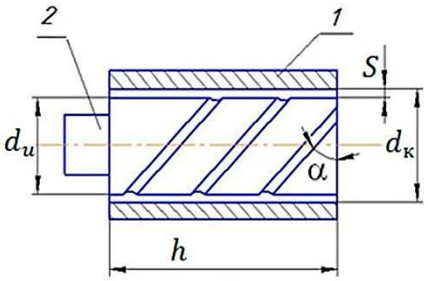

Рисунок 1. Схема иглы распылителя с винтовыми канавками:
1 – корпус распылителя; *2* – игла распылителя
Figure 1. Scheme of a spray needle with helical grooves:
1 – is spray body; *2* – is spray needle

Наличие винтового канала способствует заполнению его топливом, которое одновременно является дополнительной смазкой трущихся поверхностей. Перетекание топлива из винтовой канавки в зазор *S* между корпусом *1* и иглой *2* распылителя дизельной форсунки создает осесимметричное давление на иглу и тем самым закручивает ее. Кроме того, топливо в винтовом канале смягчает удар иглы о седло корпуса [12].

Для проведения экспериментальных исследований на базе серийных форсунок ФД-22 для дизельного двигателя 4Ч11/12.5 была изготовлена опытная партия модернизированных форсунок (рис. 2). Винтовая канавка нарезалась под углом α на токарном станке 16К20 с помощью эльборового резца.

Рисунок 2. Распылитель (*a*) модернизированной и (*b*) серийной форсунки
Figure 2. Nozzles (*a*) of the upgraded and (*b*) serial injectors

На игле распылителя выполнена винтовая канавка в направляющей части иглы под углом α с радиусом *r*, которая способствует осессиметричному давлению на иглу жидкости, перетекающей из канавок в зазор *S* между корпусом *1* и направляющей части иглы *2* распылителя дизельной форсунки. За счет наличия топлива в винтовом канале происходит смазывание, а также смягченный закручивающий удар конуса иглы о седло корпуса (вместо прямого жесткого удара в серийных распылителях).

На направляющей части иглы распылителя форсунки выполнена спиральная канавка эльборовым резцом на токарном станке 16К20. Предварительные опыты были проведены на опытной партии распылителей (12 штук) путем проливки через их зазор жидкости с разной степенью загрязненности. Результаты фиксировались при работе в течение 30 минут. Целью опытов было установить влияние объема топлива, находящегося в винтовой канавке Vк в долях, на величину зазора между корпусом и иглой распылителя, который определяет объем топлива в щели $V_δ$.

Поскольку оценка топливной экономичности дизеля по удельным эффективным расходам топлива на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента не является исчерпывающей, такую оценку можно провести с использованием условного среднего на режимах испытательного цикла расхода топлива, который определяется по выражению:

$$g_{e\,\text{ср}} = \sum_{i=1}^{k}(G_{\text{т}i} \cdot K_i) / \sum_{i=1}^{k}(N_{\text{e}i} \cdot K_i, \qquad (1)$$

где

$G_{ті}$ – часовой расход топлива на i-м режиме;

N_{ei} – мощность двигателя на этом режиме;

K_i – коэффициент, отражающий долю времени каждого режима,

k – число режимов;

$$G_{ті} = G_{тр} + G_{тх} + G_{тн}, + G_{тп}, \quad (2)$$

где

$G_{тр}$ – часовой расход при эксплуатационном режиме;

$G_{тн}$ – часовой расход на номинальном режиме;

$G_{тх}$ – часовой расход в режиме холостой ход;

$G_{тп}$ – часовой расход в режиме перегрузки.

Расход топлива за один час (часовой расход) определяется по формуле:

$$G_т = \frac{N_e \cdot g_e}{1000}, \quad (3)$$

где

N_e – эффективная мощность, кВт;

g_e – удельный расход топлива, г/кВт·ч.

Расчетное определение номинальной мощности двигателя в кВт для трактора данного тягового класса выполняется по следующей формуле:

$$N_{e(H)} = \frac{(P_{кр(н)} + f \cdot G_э) \cdot V_{H(1)}}{\eta_{m(1)} \cdot K_э \cdot 3{,}6}, \quad (4)$$

где

$P_{кр(н)}$ – номинальная сила тяги, кН;

f – коэффициент сопротивления качению;

$G_э$ – эксплуатационная (рабочая) масса трактора, кг, включающая конструктивную массу трактора (G_x), массу заправочных материалов, массу тракториста и массу балласта;

$V_{H(i)}$ – номинальная скорость движения трактора на первой основной передаче, км/ч;

$\eta_{m(i)}$ – КПД трансмиссии на 1-й основной передаче;

$$\eta_m = \eta_{хол} \cdot \eta_ц^{m_ц} \cdot \eta_к^{m_к}, \quad (5)$$

где

$\eta_{хол}$ – КПД, учитывающий потери холостого хода;

$\eta_ц$ и $\eta_к$ – соответственно КПД цилиндрической и конической пар шестерен;

$m_ц$ и $m_к$ – соответственно число пар цилиндрических и конических шестерен, работающих на данной передаче.

Объем в зазоре между корпусом и иглой распылителя определялся по формуле:

$$\upsilon_s = \frac{\pi S^2 h}{4}, \quad (6)$$

где

$S = d_u - d_к$ – величина зазора;

$d_u = 6{,}0027$ мм – диаметр направляющей части иглы распылителя;

$d_к = 6{,}03$ мм – диаметр корпуса распылителя;

$h = 20$ мм – высота направляющей части иглы распылителя.

Объём винтового канала определялся по формуле спирали [13]

$$\upsilon_к = \pi R^2 l/2, \quad (7)$$

где

l — длина спирали;

$R = 0{,}002$ мм – радиус спирали.

Эти параметры зависят от угла подъёма витков спирали α:

$$\begin{gathered} tg\alpha = 2\pi R/t \\ sin\alpha = t/l \\ l = nt \\ l^2 = t^2 + (2\pi R)^2 \end{gathered}, \quad (8)$$

где

t – шаг спирали;

n – число витков спирали.

Топливная экономичность дизеля оценивалась величиной цикловой подачи $q_ц$ (г/цикл) [14]:

$$q_ц = \frac{8{,}3 G_т \tau}{ni}, \quad (9)$$

где

$G_т$ – часовой расход топлива (кг/ч);

τ – тактность дизельного двигателя;

n – частота вращения коленчатого вала (мин$^{-1}$);

i – число цилиндров дизельного двигателя.

Для дизельного двигателя Д-240 трактора МТЗ-80 τ=4, i=4 получим:

$$G_т = 8{,}33 \frac{q_ц}{n}. \quad (10)$$

Таким образом, при выборе средств улучшения топливной экономичности предпочтительными являются те из них, которые обеспечивают снижение расхода топлива сразу на многих эксплуатационных режимах работы дизелей:

$$G_T=f(q_ц). \quad (11)$$

Цикловая подача топлива зависит от следующих величин:

P_e – от эффективного давления в отверстиях распылителя кПа;

t – от продолжительности впрыскивания с;

$P_в – P_{к.с.}$ – от разницы давления впрыскивания и давления в камере сгорания двигателя;

ρ – от плотности топлива, мг/мм^3.

Все эти показатели снимаются на тормозных стендах (n, $M_{дв}$, $G_т$) и рассчитываются по результатам испытаний (N_e, g_e).

В процессе эксперимента устанавливалось влияние объёма подаваемого топлива и степени его загрязнения $C_{заг}$ на процесс заращивания распыляемых отверстий. В усовершенствованной конструкции форсунки объем подаваемого топлива больше за счёт винтовой канавки. Процесс облитерации распылителя форсунки автотракторного дизеля оценивался через коэффициент сопротивления щели Y, который определялся как отношение расхода топлива в конце $Q_к$ проливки к расходу топлива в начале $Q_н$ проливки: $Y = Q_к/Q_н$.

В качестве топлива использовался бензин различной степени загрязнения. Проливание бензина через форсунку осуществлялось в течение 30 минут. Перед началом эксперимента расчетным путем были определены объемы топлива в винтовой канавке $\upsilon_к$ и в зазоре между корпусом и иглой распылителя υ_s. В качестве варьируемых параметров использовалась степень загрязненности бензина $C_{заг}$ и его объём в щели распылителя υ.

Сопротивления щели в зависимости от двух варьируемых параметров $Y = f(C_{заг}, \upsilon)$ в общем виде можно записать уравнением регрессии:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2, \quad (12)$$

где

x_1, x_2 – варьируемые параметры в закодированном виде;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты аппроксимации. В качестве закодированного параметра x_1 принималась степень загрязнения бензина $C_{заг}$ (%). Параметр x_2 отражал объём топлива в винтовой канавке усовершенствованного распылителя $\upsilon_к$ (мм^3).

Пределы изменения варьируемых параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов влияния на коэффициент сопротивления щели

Table 1. Levels of variation of factors influencing the crack resistance coefficient

Уровни	$C_{заг}$ (%)	x_1	$\upsilon_к/\upsilon_s$	x_2
Верхний	$20\cdot10^{-4}$	+1	0,9	+1
Основной	$11\cdot10^{-4}$	0	0,5	0
Нижний	$2\cdot10^{-4}$	–1	0,1	–1
Интервал	$\pm9\cdot10^{-4}$		±0,4	

Для реализации возможных сочетаний управляемых факторов была построена матрица планирования эксперимента (табл. 2).

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента

Table 2. Experimental design matrix

№ опыта	x_1	x_2
1	+1	+1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	-1	-1

Для определения эффективности работы были проведены эксперименты по вышеуказанным планам (рис. 2) по проливкам через плоскую капиллярную щель керосина, имеющего различную степень загрязненности (0,0002 и 0,002%). На оси ординат отложено значение коэффициента сопротивления щели $\frac{Q_к}{Q_н}$, на оси абсцисс – величина объема топлива в винтовом канале $V_к$ в зависимости от объема топлива в зазоре $V_δ \cdot V_к = f(0,1; 0,5; 0,9)V_δ$.

Результаты исследования. Согласно формуле (6) объём зазора между корпусом и иглой распылителя составил $\upsilon_s = 0{,}123$ мм^3. Объём спирали (7, 8) зависит от угла α подъема витков:

- при $\alpha = 45°$, $l = 22$ мм, $\upsilon_к = 0{,}098$ мм^3;
- при $\alpha = 40°$, $l = 18{,}7$ мм, $\upsilon_к = 0{,}839$ мм^3;
- при $\alpha = 30°$, $l = 17$ мм, $\upsilon_к = 0{,}026$ мм^3.

Для определения рациональных размеров винтового канала была получена зависимость коэффициента сопротивления щели Y от объема топлива. Объем винтового канала $\upsilon_к$ (в усовершенствованной форсунке) опре-

делялся через отношение его к объёму между корпусом и иглой распылителя υ_s (в стандартной форсунке) $\upsilon_к/\upsilon_s$. Использование таких относительных величин позволит распространить полученные экспериментально результаты на форсунки различных размеров.

Степень загрязнения бензина $C_{заг}$ в процессе эксперимента менялась от 0,0002 до 0,002%. Полученная зависимость $Y(\upsilon_к/\upsilon_s)$ имела линейный характер при любой степени загрязнения (рис. 3).

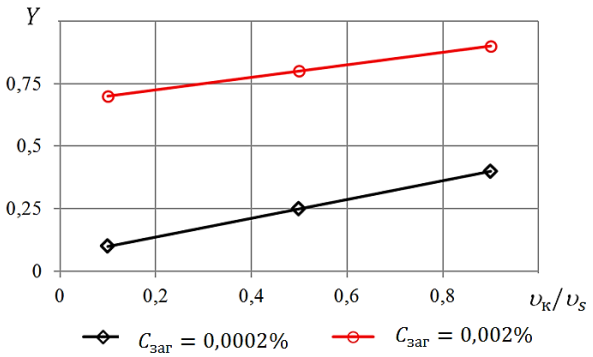

Рисунок 3. Зависимость коэффициента сопротивления Y от объёма топлива в зазоре $\upsilon_к/\upsilon_s$ при различной степени загрязненности $C_{заг}$ топлива
Figure 3. Dependence of the resistance coefficient Y on the volume of fuel in the gap $\upsilon_к/\upsilon_s$ with different degrees of fuel contamination $C_{заг}$

При максимальной загрязненности экспериментального бензина $C_{заг} = 0{,}002\%$ и увеличении общего объема подаваемого топлива $(\upsilon_к + \upsilon_s)$ на 10% коэффициент сопротивления щели составил всего $Y = 0{,}1$. Другими словами, нарезание винтовой канавки с объемом $\upsilon_к/\upsilon_s = 0{,}1$ не дает никакого эффекта при высокой степени загрязнения топлива.

Увеличение размеров винтового канала, объем которого соизмерим с объемом зазора между корпусом и иглой распылителя $\upsilon_к/\upsilon_s \approx 0{,}9$, позволяет увеличить коэффициент сопротивления щели до $Y = 0{,}8–0{,}9$, что свидетельствует о практическом отсутствии заращивания распыляющей щели. При этом расход жидкости снижается всего на 20%. Это позволило определить, что рациональный объём винтовой канавки должен составлять не менее половины объёма зазора между корпусом и иглой распылителя $\upsilon_к/\upsilon_s = 0{,}5–0{,}9$.

Для четырехцилиндрового $i = 4$ дизельного двигателя Д-240 сельскохозяйственного трактора МТЗ-80 тактность равна $\tau = 4$, и часовой расход топлива составит $G_т = 8{,}33q_ц/n$. На основании формулы (4) была получена скоростная характеристика для топливного насоса высокого давления (рис. 4).

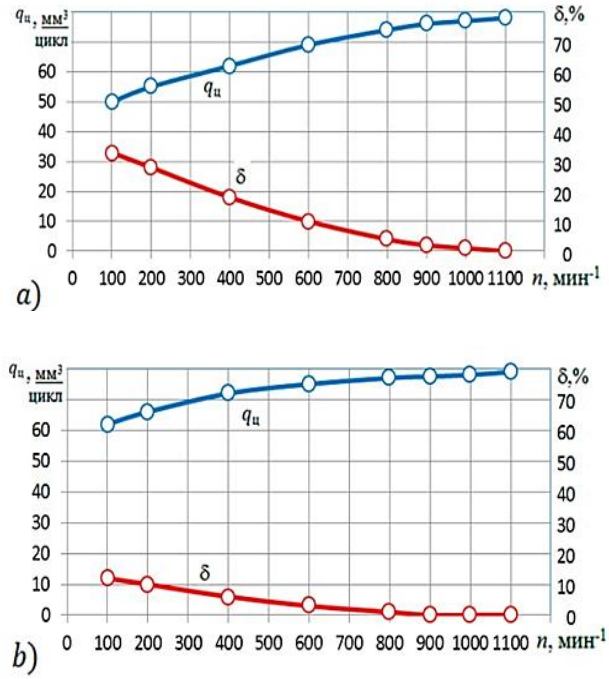

Рисунок 4. Зависимость цикловой подачи $q_ц$ и неравномерности подачи δ топлива от частоты вращения n для *(a)* серийной и *(b)* модернизированной форсунки
Figure 4. Dependence of the cyclic supply $q_ц$ and the unevenness δ of the fuel supply on the rotation speed n for *(a)* a serial and *(b)* a modernized injector

Использование модернизированных форсунок повышает цикловую подачу топлива в среднем на 1,38–2,2% и снижает неравномерность подачи топлива на 24–26,5%. Данный вывод хорошо корреспондируется с результатами других исследователей по этой тематике [14, 15].

При низкой скорости вращения вала топливного насоса $n = 400–800$ мин$^{-1}$ наблюдается высокая неравномерность δ подачи топлива от 2,7 до 16,1%. Увеличение скорости вращения вала до $n = 850–1100$ мин$^{-1}$ способствует снижению неравномерности цикловой подачи топлива до $\delta = 1–2\%$.

Вывод. Для улучшения эффективности использования дизелей предложено усовершенствование распылителя дизельной форсунки путём нарезания винтовой канавки на направляющей части иглы.

На основе сравнительного эксперимента серийных и модернизированных форсунок выявлено, что увеличение суммарного зазора за счет наличия винтовой канавки в 2 раза приводит к снижению заращивания щели. При этом наблюдается снижение расхода топлива на 20%, а коэффициент сопротивления щели равен 0,8–0,9. На основе полученных данных определен рациональный объем винтовой канавки, составляющий 0,5–0,9 от объема щели между корпусом и иглой распылителя.

Экспериментально получено, что при низкой скорости вращения вала топливного насоса $n = 400–800$ мин$^{-1}$ наблюдается высокая неравномерность δ подачи топлива (от 2,7 до 16,1%). Увеличение скорости вращения вала до $n = 850–1100$ мин$^{-1}$ способствует снижению неравномерности цикловой подачи топлива до $\delta = 1–2\%$.

Область применения результатов. Модернизированный распылитель форсунки повышает стабильность топливоподачи и рекомендуется для использования на ремонтных предприятиях в целях обслуживания 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 [др.]. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2015. 332 с.

3. Шарифуллин С. Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизелей: автореф. дис. … д-ра 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 конференция, 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 Ставрополья. 2018. № 2(30). С. 34–37. DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-34-37. EDN: UUNWOU

8. Lebedev A.T., Lebedev P.A., Apazhev A.K., Egozhev A.M., Bolotokov 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. EDN: QICOPD

11. Болотоков А. Л., Трояновская И. П., Войнаш С. А. Сравнительные испытания форсунок дизелей с серийными и модернизированными распылителями // Тракторы и сельхозмашины. 2024. № 91(2). С. 243–250. DOI: 10.17816/0321-4443-622766. EDN: IUOZXX

12. A numerical study of the effect of spiral counter grooves on a needle on flow turbulence in a diesel injector / B. Sa, V. Markov, O. Klyus, V. Kamaltdinov // Fuel. 2021. Том. 290. С. 120013. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.120013. EDN: MSGZSS

13. Troyanovskaya I. Influence of Mountain Conditions on Road Fuel Consumption (Example of the Republic of Tajikistan) // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 61. Pp. 273–279. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.045

14. Гурин Т. Ю. Повышение долговечности форсунок автотракторных дизелей модернизацией распылителей: автореф. дис. … канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. С. 19.

15. Шарифуллин С. Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизелей: автореф. дис. … д-ра техн. наук. Москва, 2009. С. 32. EDN: NLBPSV

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. [et al.] *Nadezhnost' i effektivnost' mashinno-traktornyogo agregata pri vypolnenii tekhnologicheskikh protsessov* [Reliability and efficiency of a machine-tractor unit when performing technological processes]: *monografiya*. Stavropol: AGRUS Stavropol'skogo gos. Agrarnogo un-ta, 2015. 332 p. (In Russ.).

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. Sel'skij mekhanizator. 2017;(2):31–32. EDN: ZDEDLX. (In Russ.)

5. Batyrov V.I., Koichev V.S., Bolotokov 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 HII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferenciya, v ramkah XVIII Mezhdunarodnoj agropromyshlennoj 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 hozyajstve*. 2012;(3):12–15. (In Russ.)

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. DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-34-37. (In Russ.). EDN: UUNWOU

8. Lebedev A.T., Lebedev P.A., Apazhev A.K., Egozhev A.M., Bolotokov A.L. Improving the economy of diesel engines with the upgraded sprayer of the injector. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 20189. № 6. Pp. 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: Voronezhskij GLTU, 2015. Pp. 83–85. (In Russ.).

10. Pat. 2231673 Russian Federation, ICI 7 F02M 61/10. Diezel engine nozzle spray tip. Yu.M. Khashirov, Kh.U. Bugov, A.L. Bolotokov; applicant and patent holder Kabardino-Balkarskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. No. 2001131630/06; dec. 22.11.2001; publ. 06.27.2004, Bull. No. 15. (In Russ.). EDN: QICOPD

11. Bolotokov A.L., Troyanovskaya I.P., Voinash S.A. Comparative tests of diesel injectors with current and upgraded nozzles. *Tractors and agricultural machinery*. 2024;91(2):243–250. DOI: 10.17816/0321-4443-622766. (in Russ).

12. Sa B., MarkovV., Klyus O., Kamaltdinov V. A numerical study of the effect of spiral counter grooves on a needle on flow turbulence in a diesel injector. Fuel. 2021;290:120013. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.120013. EDN: MSGZSS

13. Troyanovskaya I. Influence of Mountain Conditions on Road Fuel Consumption (Example of the Republic of Tajikistan). *Transportation Research Procedia*. 2022;61:273–279 DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.045

14. Gurin T.Yu. *Povyshenie dolgovechnosti forsunok avtotraktornyh dizelej modernizaciej raspylitelej: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Increasing the durability of injectors of automotive and tractor diesel engines by modernizing sprayers: Abstract of Cand. Sci.]. Novosibirsk. 2010. p. 19. (in Russ)

15. Sharifullin S.N. *Povyshenie ekspluatacionnoj nadezhnosti toplivnyh nasosov vysokogo davleniya avtotraktornyh dizelej: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk* [Improving the operational reliability of high-pressure fuel pumps for automotive and tractor diesel engines: Abstract of a PhD thesis]. Moscow. 2009. P. 32. (in Russ). EDN: NLBPSV

Сведения об авторах

Болотоков Анзор Леонидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры агроинженерии, 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

Танашев Астемир Арсенович – аспирант кафедры агроинженерии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 3278-9621

Information about the authors

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

Astemir A. Tanashev – Postgraduate student at the Department of Agricultural Engineering, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 3278-9621

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

Author's contribution. All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 10.11.2025;
одобрена после рецензирования 28.11.2025;
принята к публикации 05.12.2025.

The article was submitted 10.11.2025;
approved after reviewing 28.11.2025;
accepted for publication 05.12.2025.