

Батыров В. И., Шекихачев Ю. А.

Batyrov V. I., Shekikhachev Y. A.

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

PECULIARITIES OF DIESEL ENGINE WORKING PROCESS IN HIGH-MOUNTAIN CONDITIONS OF KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC

Показатели эффективности работы сельскохозяйственных машин и агрегатов главным образом определяются техническим состоянием входящих в их состав энергоустановок. В свою очередь, эффективная, экономичная, надежная и экологичная работа тракторных дизельных двигателей в условиях высокогорья, в основном, зависит от качественных показателей работы топливной системы. Топливная аппаратура (ТА) – это важнейшая и наиболее сложная составная часть дизельного двигателя. От качества ее работы зависят мощностные и экономические показатели работы дизеля. Наименее надежными и наиболее трудоемкими при техническом обслуживании в сравнении с другими системами являются узлы и детали топливной аппаратуры дизельных двигателей. К примеру, процент отказов топливной аппаратуры от общего числа отказов в дизельном двигателе в процессе эксплуатации в условиях высокогорья равен 20,5%. При этом затраты на техническое обслуживание и ремонт составляют 20-30% от суммарных затрат. Стабильность параметров топливоподачи по секциям высокого давления (ВД) в процессе эксплуатации зависит от значительного количества факторов: техническое состояние топливной системы высокого давления (ТСВД), режим и условия работы дизельного двигателя, режимы и условия испытания и регулировки топливных насосов высокого давления (ТНВД) на безмоторном стенде. Основные причины, приводящие к ухудшению показателей работы дизельных двигателей в процессе эксплуатации в условиях высокогорья, следующие: несоответствие реальных параметров рабочего цикла оптимальным значениям вследствие того, что при эксплуатации происходит изменение параметров топливоподачи ТА и воздухоснабжения, зазоров в цилиндропоршневой группе. Происходит также и изменение режимов и условий эксплуатации. Следовательно, решение проблемы повышения стабильности параметров топливоподачи дизельных двигателей в процессе эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов является актуальным и позволит повысить

эффективность использования дизельных двигателей в условиях высокогорья.

Performance indicators of agricultural machines and units are mainly determined by the technical condition of their power plants. In turn, the efficient, economical, reliable and environmentally friendly operation of tractor diesel engines in high mountain conditions mainly depends on the quality performance of the fuel system. Fuel equipment (SLT) is the most important and most complex component of diesel engine. The quality of its work depends on the power and economic performance of the diesel engine. The units and parts of diesel engines fuel equipment are the least reliable and most labour-intensive in maintenance compared to other systems. For example, the percentage of failures of fuel equipment from the total number of failures in the diesel engine during operation in high mountain conditions is 20,5%. At the same time, maintenance and repair costs are 20-30% of the total costs. Stability of fuel supply parameters by high pressure sections during operation depends on a significant number of factors: technical condition of high pressure fuel system (HFCS), mode and conditions of diesel engine operation, modes and conditions of testing and adjustment of high pressure fuel pumps (HPT) on the motor-free bench. The main reasons leading to deterioration of diesel engines operation parameters during operation in high-mountain conditions are the following: non-compliance of real parameters of the operating cycle with optimal values due to the fact that during operation there is a change of parameters of aircraft fuel supply and air supply, gaps in the cylinder-piston group. Modes and operating conditions are also changed. Therefore, solving the problem of increasing the stability of fuel supply parameters of diesel engines during operation of mobile agricultural units is urgent and will allow to increase efficiency of diesel engines use in high mountain conditions.

Ключевые слова: двигатель, дизель, топливная аппаратура, топливоподача, стабильность.

Key words: engine, diesel, fuel equipment, fuel supply, stability.

Батыров Владимир Исмелович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обслуживания и ремонта машин в АПК, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 928 706 95 72
E-mail: batyrov.53@mail.ru

Batyrov Vladimir Ismelovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Machine Maintenance and Repair Technology in Agro-Industrial Complex, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 928 706 95 72
E-mail: batyrov.53@mail.ru

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 928 077 33 77
E-mail: shek-fmep@mail.ru

Shekikhachev Yury Akhmetkhanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 928 077 33 77
E-mail: shek-fmep@mail.ru

Введение. В процессе эксплуатации дизельных двигателей в условиях высокогорья ТА призвана обеспечить идентичные условия для работы всех цилиндров. Следовательно, ТА должна обеспечить одинаковую подачу топлива в каждый цилиндр дизеля (т.е. по секциям ТНВД и комплектам ТА по цикловой подаче топлива, углу опережения впрыскивания и характеристике впрыскивания, а в случае использования многоструйного распылителя – подачу топлива через отдельные отверстия распылителя). Кроме того, ТА обеспечивает стабильность основных параметров топливоподачи в процессе эксплуатации, что позволяет сохранить эксплуатационные показатели дизельного двигателя оптимальными [1-3].

Показатели рабочего процесса дизельного двигателя определяются таким параметром, как эффективность тепловыделения, т. е. полнота и своевременность тепловыделения, которые в свою очередь зависят от параметров топливоподачи [4, 5]. Изменение технического состояния элементов ТСВД в процессе эксплуатации в условиях высокогорья вызывает существенное отклонение параметров топливоподачи от установленных для данного дизельного двигателя значений [6-9].

Результаты исследования. Математическая модель индикаторного процесса была выполнена с использованием выражения:

$$\frac{dP}{d\varphi} = \frac{dX}{d\varphi} \frac{(\kappa-1)Q_n g_{\varphi}}{V} - \frac{\kappa P dV}{V d\varphi} - \frac{\kappa-1}{V} \frac{Q_w}{d\varphi}, \quad (1)$$

где:

$dX/d\varphi$ – характеристика тепловыделения;

Q_n – удельная низшая теплотворная способность топлива;

g_{φ} – цикловая подача топлива;

P, V, φ – соответственно, текущие значения давления, объема цилиндра и угла поворота коленчатого вала двигателя (к.в.д);

K – величина адиабаты сжатия, отражающая свойства рабочего тела:

$$K = 1,43 - 0,3 \frac{X}{\alpha} - 0,05 \left(\frac{T}{1000} \right), \quad (2)$$

где:

X, α, T – соответственно, текущие значения характеристики тепловыделения, коэффициента избытка воздуха и температуры.

Характеристики тепловыделения оцениваются следующим аналитическим выражением:

$$\frac{dX}{d\varphi} = \frac{X_1(K-1)(\varphi-\varphi_n)^{K_1-1}}{\varphi_1} \exp\left[-\frac{K_1-1(\varphi-\varphi_n)}{K_1 \varphi_1}\right] + \frac{(X-X_1)(K_2-1)(\varphi-\varphi_n-\varphi_3)^{K_2-1}}{\varphi_2} \exp\left[-\frac{K_2-1(\varphi-\varphi_n-\varphi_3)}{K_2 \varphi_2}\right], \quad (3)$$

где:

X_1, X – соответственно, доли теплоты от всей теплоты, выделившейся на первом участке и за весь период выгорания;

φ_1, φ_2 – угловые величины, соответствующие отрезкам времени от начала соответствующего участка до момента достижения максимальной скорости тепловыделения на этом участке, град.;

φ_n, φ_3 – соответственно, расположение на диаграмме момента начала тепловыделения относительно ВМТ и задержки начала последующего участка относительно начала предыдущего;

K_1, K_2 – показатели характера выделения теплоты на участках.

Температуру рабочего тела можно рассчитать по следующему уравнению:

$$T = \frac{T_a}{P_a V_a} \frac{PV}{\beta_x}, \quad (4)$$

где:

T_a, P_a, V_a – соответственно, температура, давление и объем рабочего тела в конце впуска;

P, V – соответственно, текущие значения давления и объема рабочего тела;

β_x – текущий коэффициент молекулярного изменения:

$$\beta_x = 1 + \frac{0,064 X}{1 + \lambda_1 \alpha}, \quad (5)$$

где:

λ_r – коэффициент остаточных газов.

Скорость потерь энергии вследствие теплоотдачи от рабочего тела к стенкам цилиндра:

$$\frac{dQ_w}{d\varphi} = \frac{1}{3600 \times 6} \sum_1^{m_1} \alpha_i (T - T_{wi}) F_{xi}, \quad (6)$$

где:

α_i – коэффициент, характеризующий теплоотдачу элементу поверхности цилиндра;

F_{xi}, T_{wi} – соответственно, площадь и температура элемента поверхности теплоотдачи.

Построение индикаторной диаграммы выполняется путем численного интегрирования уравнения (6) с определением в конце каждого шага интегрирования $\Delta\varphi$ величины давления в цилиндре:

$$P_{j+1} = P_j + \left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{j+1} \Delta\varphi, \quad (7)$$

где:

j – номер шага интегрирования.

Таблица – Матрица плана, уровни варьирования факторов и результаты расчета индикаторных показателей дизеля

Уровни и интервал варьирования	Факторы			Функции отклика		
	Угол начала впрыскивания φ_e^o	Продолжительность впрыскивания φ_{rt}^o	Цикловая подача топлива $g_{ц}$, г/цикл	Максимальное давление цикла P_z , МПа	Жесткость работы $\Delta P / \Delta \varphi$, МПа/град	Максимальная температура цикла $T_z K$
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
верхний	30	28	0,0673			
основной	26	24	0,0591			
нижний	22	20	0,0509			
интервал	4	4	0,0082			
№№ опытов	План			Результаты		
основной	26	24	0,0591	7,300	0,7058	1707
1	30	28	0,0673	7,906	0,8329	1728
2	22	28	0,0673	6,986	0,6603	1689
3	30	20	0,0673	8,396	0,8571	1931
4	22	20	0,0673	7,254	0,6870	1866
5	30	28	0,0509	7,232	0,6908	1550
6	22	28	0,0509	6,487	0,5442	1507

7	30	20	0,0509	7,624	0,7104	1725
8	22	20	0,0509	6,707	0,5650	1673

Для выполнения расчетного исследования влияния основных параметров топливopодачи на показатели рабочего процесса был составлен план полнофакторного расчетного эксперимента для трех факторов на двух уровнях (табл.).

Результаты термодинамического расчета рабочего цикла дизеля выдавались в виде четырех массивов: исходных конструктивных и режимных параметров; характеристики тепловыделения; показателей рабочего цикла; а также в виде индикаторной диаграммы.

Вывод. Наибольшее влияние на показатели рабочего процесса дизеля в условиях высокогорья оказывает цикловая подача топлива. Увеличение цикловой подачи относительно базового варианта на 14% приводит к увеличению максимальной температуры и давления цикла, соответственно, на 224⁰К или 13,1% и 1,1 МПа или 15%. При этом жесткость работы дизеля возрастает на 0,15 МПа/град или 21,4%.

Литература

1. Исследование режимов работы дизельных двигателей тракторов в реальных условиях эксплуатации / Ю.А. Шекихачев и др. // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 4(262). – С. 14-19.

2. Исследование влияния неравномерности подачи топлива на показатели работы дизельного двигателя / Ю.А. Шекихачев и др. // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 5(263). – С. 18-21.

3. Влияние эксплуатационных режимов на экологические параметры автомобилей / Ю.А. Шекихачев, В.И. Батыров, Р.А. Балкаров, Л.З. Шекихачева // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14. – № 3(91). – С. 330-336.

4. Батыров В.И., Болотоков А.Л. Исследование изменения параметров технического состояния распылителей форсунок ФД-22 серийного и опытного в эксплуатации // Материалы Международной НПК, посвященная 50-летию факультета механизации и энергообеспечения предприятий. Нальчик. – 2011. – С. 122-126.

5. Повышение надежности распылителей форсунок автотракторных дизелей / Ю.А. Шекихачев и др. // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14. – № 6 (94). – С. 929-937.

6. Оптимизация регулировочных параметров топливной аппаратуры дизелей при выполнении ремонтно-обслуживающих работ / В.Н. Нагоев, В.С. Койчев, В.И. Батыров, И.И. Газизов // Материалы III Международной НПК «Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК». Ставрополь: АГРУС, 2008. – С. 17-21.

References

1. Issledovanie rezhimov raboty dizel'nyh dvigatelej traktorov v real'nyh usloviyah ekspluatatsii / Yu.A. Shekihachev i dr. // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2019. – № 4(262). – S. 14-19.

2. Issledovanie vliyaniya neravnomernosti podachi topliva na pokazateli raboty dizel'nogo dvigatelya / Yu.A. Shekihachev i dr. // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2019. – № 5(263). – S. 18-21.

3. Vliyanie ekspluatatsionnyh rezhimov na ekologicheskie parametry avtomobilej / Yu.A. Shekihachev, V.I. Batyrov, R.A. Balkarov, L.Z. Shekihacheva // Nauchnaya zhizn'. – 2019. – T. 14. – № 3(91). – S. 330-336.

4. Batyrov V.I., Bolotokov A.L. Issledovanie izmeneniya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya raspylitelej forsunok FD-22 serijnogo i opytnogo v ekspluatatsii // Materialy Mezhdunarodnoj NPK, posvyashchennaya 50-letiyu fakul'teta mekhanizatsii i energoobespecheniya predpriyatij. Nal'chik. – 2011. – S. 122-126.

5. Povyshenie nadezhnosti raspylitelej forsunok avtotraktornyh dizelej / Yu.A. Shekihachev i dr. // Nauchnaya zhizn'. – 2019. – T. 14. – № 6(94). – S. 929-937.

6. Optimizatsiya regulirovochnykh parametrov toplivnoj apparatury dizelej pri vypolnenii remontno-obsluzhivayushchih rabot / V.N. Nagoev, V.S. Kojchev, V.I. Batyrov, I.I. Gazizov // Materialy III Mezhdunarodnoj NPK «Aktual'nye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK». Stavropol': AGRUS, 2008. – S. 17-21.

7. Батыров В.И., Койчев В.С., Болуров А.Ш. Влияние динамических режимов эксплуатации на регулировочные параметры автомобильных двигателей // Сб. науч. статей «Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК» по материалам III Международной НПК в рамках X Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2008». Ставрополь: «АГРУС», 2008. – С. 112-116.

8. Пути повышения равномерности параметров топливоподачи дизельной топливной аппаратуры / Ю.А. Шехихачев и др. // Человек и современный мир. – 2019. – № 3 (28). – С. 246-252.

9. Батыров В.И., Нагоев В.Н., Болотоков А.Л. Метод комплектования топливной системы высокого давления при выполнении ремонтно-обслуживающих работ // Сборник завершенных научных работ в области АПК, рекомендуемых для внедрения в производство. Нальчик: КБГСХА, 2006. – С. 91-96.

7. *Batyrov V.I., Kojchev V.S., Bolurov A.Sh.* Vliyanie dinamicheskikh rezhimov ekspluatatsii na regulirovochnye parametry avtomobil'nyh dvigatelej // Sb. nauch. statej «Aktual'nye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK» po materialam III Mezhdunarodnoj NPK v ramkah X Mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki «Agrouniversal – 2008». Stavropol': «AGRUS», 2008. – S. 112-116.

8. Puti povysheniya ravnomernosti parametrov toplivopodachi dizel'noj toplivnoj apparatury / Yu.A. Shekihachev i dr. // Chelovek i sovremennij mir. – 2019. – № 3 (28). – S. 246-252.

9. *Batyrov V.I., Nagoev V.N., Bolotokov A.L.* Metod komplektovaniya toplivnoj sistemy vysokogo davleniya pri vypolnenii remontno-obsluzhivayushchih rabot // Sbornik zavershennykh nauchnykh rabot v oblasti APK, rekomenduemyh dlya vnedreniya v proizvodstvo. Nal'chik: KBGSKHA, 2006. – S. 91-96.

