

Шекихачев Ю. А., Батыров В. И.

Shekikhachev Y. A., Batyrov V. I.

ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ТОПЛИВОПОДКАЧИВАЮЩИХ НАСОСОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

CHARACTERISTIC FAULTS OF FUEL SUPPLY PUMPS DURING OPERATION

Топливоподкачивающие насосы (ТПН) предназначены для подачи топлива с избыточным давлением для преодоления сопротивления в топливных фильтрах и обеспечения наполнения подплунжерных камер в топливном насосе высокого давления (ТНВД) на различных режимах работы двигателя. Со временем в ТПН возникают различные неисправности, которые проявляются при снижении подачи давления топлива. В соответствии с результатами исследований, проведенных в ЦНИТА, доля отказов ТПН топливного насоса УТН-5 составляет 4,2% отказов. В связи с этим были проанализированы характерные неисправности ТПН в процессе эксплуатации. Показано, что определяющим параметром для величины производительности и максимального давления ТПН поршневого типа является зазор в системах «поршень – отверстие корпуса» и «стержень толкателя – направляющее отверстие». Кроме того, эксплуатация дизельной топливной аппаратуры (ТА) в условиях отсутствия или неисправных фильтров грубой очистки является причиной проникновения различных механических частиц в подкачивающий насос. Застревание указанных частиц в системах двигателя приводит к частичному или полному заклиниванию подвижных деталей, и, как следствие, к частичному или полному отказу насоса. Таким образом, своевременное и качественное выполнение операции технического обслуживания топливной системы низкого давления обеспечит бесперебойную работу дизеля.

Ключевые слова: дизельный двигатель, топливо, насос, топливная аппаратура, эксплуатация, эффективность, неисправность.

Fuel priming pumps (HPP) are designed to supply fuel with excess pressure to overcome resistance in fuel filters and ensure filling of sub-plunger chambers in a high-pressure fuel pump (HPP) at various engine operating modes. Over time, various malfunctions occur in the TVC, which manifest themselves with a decrease in the fuel pressure supply. In accordance with the results of studies carried out at TsNITA, the share of failures of the TVC of the fuel pump UTN-5 is 4.2% of failures. In this regard, the characteristic faults of the TVC during operation were analyzed. It is shown that the defining parameter for the value of productivity and maximum pressure of the piston-type TVC is the clearance in the systems «piston – housing hole» and «pusher rod – guide hole». In addition, the operation of diesel fuel equipment (TA) in the absence or faulty coarse filters causes the penetration of various mechanical particles into the booster pump. Jamming of these particles in the engine systems leads to partial or complete seizure of moving parts, and, as a result, to partial or complete pump failure. Thus, timely and high-quality performance of the maintenance operation of the low pressure fuel system will ensure uninterrupted operation of the diesel engine.

Key words: diesel engine, fuel, pump, fuel equipment, operation, efficiency, malfunction.

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 Yuri 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

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 of the Department of Maintenance and Repair of Machines in Agroindustrial Complex, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Tel .: 8 928 706 95 72

E-mail: batyrov.53@mail.ru

Введение. В случае износа системы «стержень толкателя – направляющее отверстие корпуса» происходит перетекание топлива по увеличенному зазору в картер топливного насоса, и при забитии сливной трубки и недостаточной герметичности поджимных сальников кулачкового вала, имеет место его попадание в картер двигателя [1-3].

При переполнении топливом топливного насоса высокого давления (ТНВД) и регулятора (уровень топлива превышает контрольный) возможен «разнос» двигателя.

В случае «сбрасывания» избытка горючего через дренажную трубку может не быть существенных нарушений топливной аппаратуры (ТА), однако эту неисправность необходимо устранить.

Износ клапанов и их гнезд приводит к увеличению утечек, что ухудшает основные показатели топливоподкачивающего насоса (ТПН).

Причинами уменьшения плотности посадки всасывающего и нагнетательного клапанов могут быть: снижение упругости или поломка поджимных пружин, попадание посторонних частиц в пространство между гнездом и клапаном и т.д. Также возможно внедрение металлических частиц в корпус клапана.

Работоспособность ТПН зависит от плотности посадки в гнезда клапанов (всасывающего и нагнетательного), упругости поршневой пружины, герметичности уплотнений и т.д. [4-10].

Увеличение зазора в системе «поршень – корпус насоса» до 0,2 мм приводит к снижению производительности помпы примерно на 48%, а при увеличении этого значения более 0,25 мм возникает необходимость в ремонта ТПН.

Последствиями недостаточной подачи топлива помпой являются неустойчивая

работа двигателя и низкое давление топлива в системе после фильтров.

Техническое состояние пружин клапанов проверяется путем отворачивания корпуса ручной подкачки и пробки. Необходимо, чтобы пружина выступала на 2...3 мм над верхним торцом клапана.

Работа с перебоями или полный отказ ТПН возникают вследствие нескольких причин: нарушение герметичности клапанов, подсос воздуха, поломка поршневой пружины, частичное или полное заклинивание поршня или стержня толкателя.

Если ТПН подает топливо, то вначале производят проверку ручной подкачки.

Для установления подвижности поршня и стержня-толкателя необходимо осуществить отворачивание пробки корпуса. После этого, одновременно нажимая на поршень и стержень посредством пробки и поршневой пружины, производят многократное проворачивание кулачкового вала ТПН. Необходимо, чтобы все детали перемещались свободно.

Выполняя операции по установлению подвижности поршня и стержня, производят контроль пружины поршня, ее выход из строя приводит к перебоям или полному отказу ТПН.

Насосы типа НД отличаются тем, что в них основной причиной отказа ТПН является поломка привода насоса низкого давления (шпонка или эксцентриковый валик). Контроль этого узла осуществляется путем отворачивания крышки подшипника эксцентрикового валика.

Стабильная работа ТНВД существенно зависит от выходных параметров ТПН: развиваемого давления и производительности.

Повышение давления, развиваемого ТПН, ограничивается прочностью фильтрующих

элементов и топливопроводов системы низкого давления.

Результаты исследования. Проведены экспериментально-теоретические исследования ТПН поршневого типа, простого действия, применяемых в топливных системах дизелей семейства ЯМЗ, направленных на повышение такого важного показателя, как производительность.

Экспериментальные исследования проведены согласно плану, обеспечивающему представление многофакторной модели производительности методом узловых точек. Основными факторами, влияющими на производительность ТПН, являются: $\Delta P = P_{\max} - P$ – разность давлений; K – жесткость пружины; d_n – диаметр поршня; n – частота вращения вала привода; ρ – плотность топлива; e – величина эксцентриситета вала привода. Диапазон изменения основных факторов при проведении экспериментальных исследований:

$$\Delta P = 0,078 \dots 0,147 \dots 0,216 \text{ МПа}$$

$$\Delta P = 0,8 \dots 1,5 \dots 2,2 \text{ кгс/см}^2$$

$$K = 4,12 \dots 10,0 \dots 15,88 \text{ Н/мм}$$

$$K = 0,42 \dots 1,02 \dots 1,62 \text{ кгс/мм}$$

$$d_n = 22 \dots 24 \text{ мм}$$

$$n = 750 \dots 1000 \dots 1250 \text{ об/мин}$$

$$e = 8 \dots 10 \dots 12 \text{ мм}$$

$$\rho = 795 \dots 815 \dots 835 \text{ кг/м}^3$$

Значения основных факторов для упрощения заданы в кодированном виде:

$$X_1 = \frac{P - 0,147}{0,069} \quad X_4 = \frac{d_n - 22}{2}$$

$$X_1 = \frac{P - 0,147}{0,069} \quad X_5 = \frac{\rho - 0,815}{0,02}$$

$$X_3 = \frac{n - 1000}{250} \quad X_6 = \frac{e - 10}{2}$$

В таблице 1 приведен план эксперимента.

В результате аппроксимации экспериментальных данных были получены следующие однофакторные зависимости:

$$Q_{\Delta P} = 0,11 + 11,9\Delta P - 9,81\Delta P^2 \quad (1)$$

$$Q_K = 2,42 - 0,0734K^2 \quad (2)$$

$$Q_n = -0,89 + 4,1 \cdot 10^{-3}n - 1,52 \cdot 10^{-6}n^2 \quad (3)$$

$$Q_{d_n} = -0,73 + 0,11d_n \quad (4)$$

$$Q_\rho = 49,92 - 110,13\rho \cdot 10^{-3} + 62,5\rho^2 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Таблица 1 – План экспериментов

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	0	0	0	0	0	0
2	+1	0	0	0	0	0
3	-1	0	0	0	0	0
4	0	+1	0	0	0	0
5	0	-1	0	0	0	0
6	0	0	+1	0	0	0
7	0	0	-1	0	0	0
8	0	0	0	+1	0	0
9	0	0	0	0	+1	0
10	0	0	0	0	-1	0
11	0	0	0	0	0	+1
12	0	0	0	0	0	-1

Величина эксцентриситета, как видно из таблицы 1, на производительность при наличии противодействия не влияет.

Результаты экспериментальных исследований в графической интерпретации представлены на рисунке 1.

Согласно методу узловых точек производительность Q представляется как аддитивная модель вида:

$$Q = -(n-1)Q_0 + \sum_{i=1}^n Q_i = -4Q_0 + Q_{\Delta P} + Q_K + Q_n + Q_{d_n} + Q_\rho \quad (6)$$

После подстановки зависимостей (1)-(5) в выражение (6), получим:

$$Q = 42,67 + 11,9\Delta P - 0,0734K + 4,1 \cdot 10^{-3}n + 0,11d_n - 110,13\rho - 9,81\Delta P^2 - 1,52 \cdot 10^{-6}n^2 + 62,5\rho^2 \quad (7)$$

Проверка адекватности модели (7) выполнена по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_n^2}{S_{ag}^2}, \quad (8)$$

где:

S_n^2 – значение полной дисперсии.

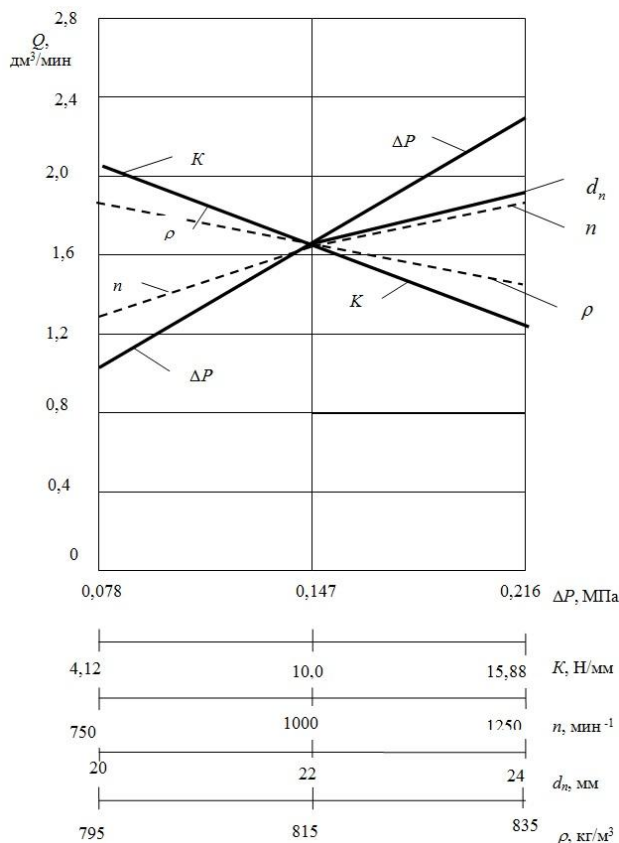


Рисунок 1 – Графическая интерпретация однофакторных зависимостей

Таблица 2 – Результаты дополнительных экспериментов

№	ΔP , МПа	K , Н/м	n , об/мин	d_n , мм	ρ , г/см ³	Q_i	$Q_{i\rho}$	ΔQ_i^2	$\frac{\Delta Q_i}{Q_i} 100\%$
1	0,13	10,2	1000	22	0,83	1,37	1,37	0	0
2	0,26	10,2	750	22	0,83	1,98	2,07	0,0004	4,5%
3	0,19	4,2	750	24	0,83	2,05	1,97	0,0064	3,9%
4	0,22	16,2	1250	22	0,815	2,01	2,01	0	0
5	0,22	4,2	1000	24	0,815	2,91	2,92	0,0001	0,34%
6	0,08	10,2	1000	22	0,795	1,17	1,2	0,0009	2,6%
7	0,22	16,2	1200	22	0,795	2,25	2,18	0,0049	3,1%
8	0,15	4,2	900	22	0,815	2,09	2,0	0,0081	4,3%

Используя данные таблицы 2, находим:

$$S_{ag}^2 = \frac{1}{N - (n + 1)} \sum_{i=1}^N \Delta Q_i^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0208 = 0,0104,$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i, \quad (10)$$

где:

$f_n = N - 1$ – число степеней свободы полной дисперсии;

Q_i – численное значение производительности, полученное в результате эксперимента при различных сочетаниях факторов;

N – число экспериментов;

S_{ag}^2 – дисперсия адекватности:

$$S_{ag}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_{i\rho})^2, \quad (11)$$

где:

$Q_{i\rho}$ – расчетная производительность;

$f_1 = N - (n + 1)$ – число степеней свободы дисперсии адекватности;

n – число факторов.

В ходе исследований были проведены дополнительные эксперименты (табл. 2).

$$S_n^2 = \frac{1}{f_n} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \quad (9)$$

$$S_n^2 = \frac{1}{8-1} \cdot 1,984 = 0,2834,$$

$$F = \frac{0,2834}{0,0104} = 27,25.$$

Значение критерия Фишера по таблице при 95% доверительной вероятности $F_T = 19,2$.

Таким образом $F \phi F_T$, т.е. полученная модель адекватно описывает исследуемый процесс.

Расчет среднего значения отклонений между расчетной и экспериментальной производительностью показал результат:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta Q}{Q_i} \cdot 100\% = 2,34\% ,$$

что дополнительно подтверждает адекватность разработанной модели производительности ТПН.

Выводы. 1. В реальных условиях, при заданной величине противодействия и заданном значении максимального давления, эксцентриситет вала привода не оказывает влияния на значение производительности ТПН.

2. Повысить производительность ТПН возможно путем уменьшения жесткости пружины и увеличения максимального давления.

3. Уменьшая плотность топлива возможно увеличить объемную производительность ТПН.

Литература

1. Vegetal fuel as environmentally safe alternative energy source for Diesel engines / *A.K. Apazhev, Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, Kh.L. Gubzhokov, A.L. Bolotokov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 663(1). 012049. – DOI 10.1088/1757-899X/663/1/012049.
2. Improving the performance of tractor diesel engines by optimizing the fuel supply characteristics / *A.K. Apazhev, Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, A.L. Bolotokov, L.Z. Shekikhacheva* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 677. – 2021. 042084. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042084.
3. Influence of fractional composition of fuel on engine performance / *A.K. Apazhev, Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, A.L. Bolotokov, L.Z. Shekikhacheva* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 677. – 2021. 042086. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042086.
4. Metrological and methodological support for bench studies of diesel engines / *Y.A. Shekikhachev, R.A. Balkarov, M.M. Chechenov, H.B. Kardanov, L.Z. Shekikhacheva* // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – 1515(4). 042029. – DOI: 10.1088/1742-6596/1515/4/042029.
5. Prediction of service life of auto-tractor engine parts / *Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, L.Z. Shekikhacheva, A.L. Bolotokov, H.L. Gubzhokov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 862(3). – 032001. – DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032001

References

1. Vegetal fuel as environmentally safe alternative energy source for Diesel engines / *A.K. Apazhev, Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, Kh.L. Gubzhokov, A.L. Bolotokov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 663(1). 012049. – DOI 10.1088/1757-899X/663/1/012049.
2. Improving the performance of tractor diesel engines by optimizing the fuel supply characteristics / *A.K. Apazhev, Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, A.L. Bolotokov, L.Z. Shekikhacheva* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 677. – 2021. 042084. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042084.
3. Influence of fractional composition of fuel on engine performance / *A.K. Apazhev, Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, A.L. Bolotokov, L.Z. Shekikhacheva* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 677. – 2021. 042086. – DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042086.
4. Metrological and methodological support for bench studies of diesel engines / *Y.A. Shekikhachev, R.A. Balkarov, M.M. Chechenov, H.B. Kardanov, L.Z. Shekikhacheva* // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – 1515(4). 042029. – DOI: 10.1088/1742-6596/1515/4/042029.
5. Prediction of service life of auto-tractor engine parts / *Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, L.Z. Shekikhacheva, A.L. Bolotokov, H.L. Gubzhokov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 862(3). – 032001. – DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032001
6. Исследование влияния неравномерности подачи топлива на показатели работы дизельного двигателя / *Ю.А. Шекихачев, В.И. Батыров, Р.А. Балкаров, М.М. Чеченов, Х.Б. Карданов* // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 5 (263). – С. 18-21.
7. *Батыров В.И., Болотоков А.Л.* Исследование изменения параметров технического состояния распылителей форсунок ФД-22 серийного и опытного в эксплуатации // Материалы Международной НПК, посвященной 50-летию факультета механизации и энергообеспечения предприятий. – Нальчик, 2011. – С. 122-126.
8. 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.
9. Исследование режимов работы дизельных двигателей тракторов в реальных условиях эксплуатации / *Ю.А. Шекихачев, В.И. Батыров, Р.А. Балкаров, Л.З. Шекихачева, Х.Л. Губжоков* // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 4 (262). – С. 14-19.
10. Повышение надежности распылителей форсунок автотракторных дизелей / *Ю.А. Шекихачев, В.И. Батыров, Х.Б. Карданов, М.М. Чеченов, Л.З. Шекихачева* // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14. – № 6 (94). – С. 929-937.

6. Issledovanie vliyaniya neravnomernosti podachi topliva na pokazateli raboty dizel'nogo dvigatelya / *Y.A. Shekihachev, V.I. Batyrov, R.A. Balkarov, M.M. Chechenov, H.B. Kardanov* // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela.* – 2019. – № 5 (263). – S. 18-21.

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

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

9. Issledovanie rezhimov raboty dizel'nyh dvigatelej traktorov v real'nyh usloviyah ekspluatatsii / *Y.A. Shekihachev, V.I. Batyrov, R.A. Balkarov, L.Z. Shekihacheva, H.L. Gubzhokov* // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela.* – 2019. – № 4 (262). – S. 14-19.

10. Povyshenie nadezhnosti raspylitelej forsunok avtotraktornyh dizelej / *Y.A. Shekihachev, V.I. Batyrov, H.B. Kardanov, M.M. Chechenov, L.Z. Shekihacheva* // *Nauchnaya zhizn'.* – 2019. – T. 14. – № 6 (94). – S. 929-937.