

Болотоков А. Л., Губжоков Х. Л.

Bolotokov A. L., Gubzhokov H. L.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
ТОПЛИВОПОДКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OUTPUT PARAMETERS
ON THE PERFORMANCE OF THE FUEL PUMP**

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 на различных режимах работы двигателя. Повышение давления, развиваемого топливоподкачивающим насосом, ограничивается прочностью фильтрующих элементов и топливопроводов системы низкого давления.

Определяющим параметром для величины производительности ТПН поршневого типа является зазор в системах «поршень – отверстие корпуса» и «стержень толкателя – направляющее отверстие». Вследствие этого, эксплуатация дизельной топливной аппаратуры в условиях отсутствия или неисправных фильтров грубой очистки является причиной проникновения различных механических частиц в подкачивающий насос.

По методу узловых точек для проведения эксперимента был принят план, позволяющий разработать многофакторную модель производительности насоса.

На основе проведенных исследований сделаны выводы о том, что на производительность существенное влияние оказывает жесткость пружины и максимальное давление, развиваемое топливоподкачивающим насосом. Для повышения производительности необходимо уменьшить жесткость пружины до 4,2 Н/мм и увеличить максимальное давление до 0,22 МПа за счет увеличения преднатяга, развиваемого топливоподкачивающим насосом.

Ключевые слова: дизель, экономический эффект, форсунка, методика, наработка, топливоподкачивающие насосы.

Fuel transfer pumps are designed to supply fuel with excess pressure to overcome resistance in fuel filters and ensure filling of the sub-plunger chambers in the high-pressure fuel pump at various engine operating modes. The increase in pressure developed by the fuel pump is limited by the strength of the filter elements and fuel lines of the low-pressure system.

The determining parameter for the value of the performance of a piston-type TPN is the gap in the «piston – body hole» and «pusher rod – guide hole» systems. As a result, the operation of diesel fuel equipment in the absence or faulty coarse filters is the cause of the penetration of various mechanical particles into the pumping pump.

According to the method of nodal points, a plan was adopted for the experiment, allowing the development of a multifactor model of pump performance.

On the basis of the conducted research, it was concluded that the spring stiffness and the maximum pressure developed by the fuel pump have a significant impact on performance. To increase productivity, it is necessary to reduce the spring stiffness to 4,2 N/mm and increase the maximum pressure to 0,22 MPa by increasing the preload developed by the fuel pump.

Key words: diesel, economic effect, nozzle, methodology, operating time, fuel pumps.

Болотоков Анзор Леонидович –
доцент кафедры технологии обслуживания и
ремонта машин в АПК, ФГБОУ ВО Кабарди-
но-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 964 033 63 55
E-mail: anzor.n@Inbox.ru

Губжиков Хусен Лелович –
доцент кафедры технологии обслуживания и
ремонта машин в АПК, ФГБОУ ВО Кабарди-
но-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 905 437 09 09
E-mail: gubzh69@mail.ru

Bolotokov Anzor Leonidovich –
Associate Professor of the Department of machine
maintenance and repair technology in the agricul-
tural sector FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU,
Nalchik
Tel.: 8 964 033 63 55
E-Mail: anzor.n@Inbox.ru

Gubjokov Husen Lelovic –
Associate Professor of the Department of machine
maintenance and repair technology in the agricul-
tural sector FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU,
Nalchik
Tel.: 8 905 437 09 09
E-mail: gubzh69@mail.ru

Введение. Стабильная работа топливно-
го насоса высокого давления существенно
зависит от выходных параметров топливо-
подкачивающего насоса (ТПН): развивае-
мого давления и производительности [1-6].

Повышение давления, развиваемого
ТПН, ограничивается прочностью фильтру-
ющих элементов и топливопроводов систе-
мы низкого давления. Работоспособность
ТПН зависит от плотности посадки в гнезда
клапанов (всасывающего и нагнетательно-
го), упругости поршневой пружины, герме-
тичности уплотнений и т.д. Работа с пере-
боями или полный отказ ТПН возникают
вследствие нескольких причин: нарушение
герметичности клапанов, подсос воздуха,
поломка поршневой пружины, частичное
или полное заклинивание поршня или
стержня толкателя [7-11].

Результаты исследования. Нами вы-
полнены экспериментально-теоретические
исследования ТПН поршневого типа, про-
стого действия, применяемых в топливных
системах дизелей семейства ЯМЗ, направ-
ленные на повышение производительности.

По методу узловых точек в эксперименте
был принят план, позволяющий предста-
вить многофакторную модель производи-
тельности. Основными факторами, влияю-
щими на производительность топливопод-
качивающего насоса, выбраны следующие
показатели: жесткость пружины (K), диа-
метр поршня (d_n), величина эксцентрисите-
та вала привода (e), частота вращения вала

привода (n), плотность топлива (ρ), раз-
ность давлений ($\Delta P = P_{\max} - P$). Эти факто-
ры варьировались в диапазоне значений:

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

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

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

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

$$d_n = 22 - 24 \text{ мм};$$

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

$$e = 8 - 10 - 12 \text{ мм};$$

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

Эти факторы представим в кодирован-
ном виде:

$$X_1 = \frac{P - 0,078}{0,069}; \quad X_4 = \frac{d_n - 22}{2};$$

$$X_2 = \frac{P - 0,147}{0,069}; \quad X_5 = \frac{\rho - 0,815}{0,02};$$

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

План эксперимента представлен в таб-
лице 1.

В результате аппроксимации экспери-
ментальных данных были получены сле-
дующие однофакторные зависимости про-
изводительности ТПН:

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

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

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

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

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента в кодированном виде

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Q
1	0	0	0	0	0	0	1,69
2	+1	0	0	0	0	0	2,27
3	-1	0	0	0	0	0	1,01
4	0	+1	0	0	0	0	1,26
5	0	-1	0	0	0	0	2,12
6	0	0	+1	0	0	0	1,86
7	0	0	-1	0	0	0	1,33
8	0	0	0	+1	0	0	1,91
9	0	0	0	0	+1	0	1,55
10	0	0	0	0	-1	0	1,88
11	0	0	0	0	0	+1	1,69
12	0	0	0	0	0	-1	1,69

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

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

Графическая интерпретация полученных однофакторных зависимостей представлена на рисунке 1.

По методу узловых точек производительность (Q) можем представить в виде аддитивной модели:

$$Q = -(n-1)Q_0 + \sum_{i=1}^n Q_i = -4Q_0 + Q_{\Delta P} + Q_k + Q_n + Q_{dn} + Q_p. \quad (6)$$

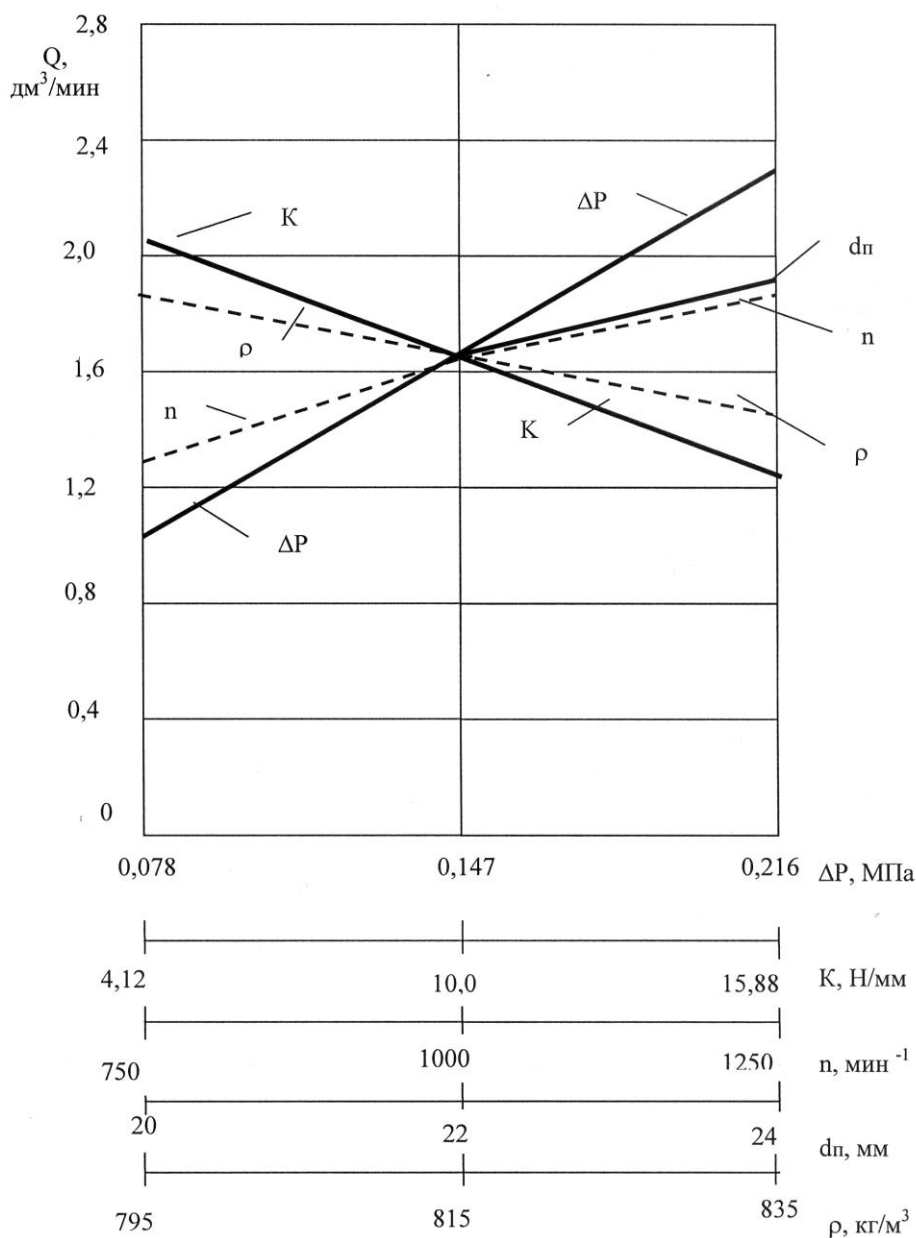


Рисунок 1 – Графическая интерпретация однофакторных зависимостей

Подставим значения однофакторных зависимостей из формулы (1) в формулу (2), получим следующее выражение:

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

С помощью критерия Фишера проводим проверку адекватности полученной модели, которая определяется по формуле:

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

где:

S_n^2 – значение полной дисперсии.

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

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

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:

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

где:

Q_{ip} – расчетная производительность;

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

n – число факторов.

Для того, чтобы проверить адекватность, проведем дополнительно 8 экспериментов с различными сочетаниями этих факторов (табл. 2).

Таблица 2 – Сочетания основных факторов

№	ΔP МПа	K Н/мм	n об/мин	dп мм	ρ г/см ³	Q_i	Q_{ip}	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%

Исходя из данных таблицы 2, находим:

$$S_{ag}^2 = \frac{1}{N - (n + 1)} \sum_{i=1}^8 \Delta Q_i^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0208 = 0,0104;$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^8 Q_i = \frac{1}{8} \cdot 15,83 = 1,979;$$

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

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

Значение критерия Фишера по таблице при 95% доверительной вероятности $F_T=19,5$.

Таким образом, $F > F_T$, т.е. многофакторная математическая модель является адекватной.

В таблице 2 представлены численные значения отклонений экспериментальных от расчетных величин производительности, которые выражены в процентах.

Для проведенных экспериментов средний процент отклонений определяем по формуле:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^8 \frac{\Delta Q_i}{Q_i} \cdot 100\% = 2,34\%,$$

таким образом, подтверждается адекватность полученной многофакторной математической модели.

Выводы. 1. Для повышения производительности топливopодкачивающего насоса необходимо уменьшить жесткость пружин

Литература

1. Исследование влияния неравномерности подачи топлива на показатели работы дизельного двигателя / Ю.А. Шехихачев, В.И. Батыров, Р.А. Балкаров, М.М. Чеченов, Х.Б. Карданов // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 5 (263). – С. 18-21.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

ны до 4,2 Н/мм и увеличить максимальное давление до 0,22 МПа.

2. Величина эксцентриситета вала привода не оказывает влияние на производительность топливopодкачивающего насоса.

References

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

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

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Prediction of service life of auto-tractor engine parts / *Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov,*

L.Z. Shekikhacheva, A.L. Bolotokov, H.L. Gub-zhokov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 862(3). 032001. DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032001

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. Губжсоков* // 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.

11. Investigation of coking diesel injector spray nozzles in operation / *A. Apazhev, Y. Shekikhachev, V. Batyrov, L. Shekikhacheva, A. Bolotokov* // E3S Web of Conferences. – 2021. – 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201020.

7. Prediction of service life of auto-tractor engine parts / *Y.A. Shekikhachev, V.I. Batyrov, L.Z. Shekikhacheva, A.L. Bolotokov, H.L. Gub-zhokov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 862(3). 032001. DOI: 10.1088/1757-899X/862/3/032001
8. Vliyanie ekspluatatsionnykh 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'nykh dvigatelej traktorov v real'nykh usloviyakh ekspluatatsii / *Y.A. Shekihachev, V.I. Batyrov, R.A. Balkarov, L.Z. Shekihacheva, H.L. Gubz-ho-kov* // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2019. – № 4 (262). – S. 14-19.
10. Povyshenie nadezhnosti raspylitelej for- sunok avtotraktornykh 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.
11. Investigation of coking diesel injector spray nozzles in operation / *A. Apazhev, Y. She-kikhachev, V. Batyrov, L. Shekikhacheva, A. Bo-lotokov* // E3S Web of Conferences. – 262. – 2021. – 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201020.