

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ПРИ КОМПЛЕКТАЦИИ ИХ ПО ГИДРОПЛОТНОСТИ****Казаков Ю.Ф., Иванов В.А.**

**Реферат.** В работе рассмотрены факторы, влияющие на оценочный показатель технического состояния плунжерных пар при их комплектации по гидроплотности. Для выявления влияния факторов на оценочный показатель плунжерной пары по гидроплотности, был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент, и была получена математическая модель процесса подбора плунжерных пар в комплект по гидроплотности. На основе исследования предложено комплектовать плунжерные пары в комплект на приборе КИ-759 математической зависимостью для уменьшения погрешности.

**Ключевые слова:** гидроплотность, топливный насос высокого давления, неравномерность цикловой подачи топлива.

**Введение.** Наиболее часто встречающиеся отказы и неисправности топливных насосов высокого давления обусловлены неравномерностью и снижением цикловой подачи топлива. Первопричиной неравномерности подачи топлива топливным насосом высокого давления рядного типа является нарушение требований комплектацией плунжерных пар в комплект по гидроплотности на приборе КИ-759.

На основе отмеченных недостатков данного способа указана его применимость как в производстве, так и сервисных центрах.

Проанализированы факторы, влияющие на оценочный показатель подбора плунжерных пар в комплект по гидроплотности на приборе КИ-759 для топливных насосов высокого давления рядного типа, и классифицированы факторы по группам.

Для выявления влияния факторов на оценочный показатель плунжерной пары по гидроплотности, был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент.

Объект испытаний – плунжерные пары с допустимым граничным значением. На основе испытаний была проверена равноточность опытов, и получена математическая модель подбора плунжерных пар в комплект по гидроплотности.

Определены значения факторов, обеспечивающих гидравлическую плотность топлива.

Получена аналитическая зависимость (математическая модель), позволяющая оценить плунжерные пары с допустимым граничным износом на гидроплотность при их комплектации в комплект.

**Анализ и методы исследования.** В топливных насосах с многоплунжерными секциями, как известно, в процессе эксплуатации нарушается равномерность подачи топлива по цилиндрам и изменяется угол опережения впрыска, в результате чего ухудшаются показатели рабочего процесса в отдельных цилиндрах дизеля. В связи с этим возникает необходимость постоянной регулировки топливных

насосов высокого давления этих систем, что усложняет техническую эксплуатацию дизеля и его обслуживание [1].

В частности, нарушение регулировочных параметров и появление отказов в отдельных элементах топливных систем приводит к значительным простоям техники, которые колеблются от 25 до 35% общего времени простоя машин [2].

Надежность дизельной топливной аппаратуры в значительной мере определяется потенциалом работоспособности плунжерной пары топливного насоса высокого давления [3].

Основными оценочными показателями работоспособности плунжерных пар является показатели назначения: цикловая подача, максимальное развиваемое давление, продолжительность подачи топлива [4].

Снижение параметра пусковой подачи используется в качестве выбраковки топливopпрыскивающего насоса [5].

Обработка данных, полученных ЦНИТА при эксплуатационных испытаниях насосов УТН-5, показала, что 29% всех отказов приходится на износ подшипников кулачкового вала, 12,5% – на нарушение герметичности уплотнений, 29,2% – на увеличение неравномерности распределения топлива и снижение цикловой подачи (износ плунжерных пар и нагнетательных клапанов) и 8,5% - на снижение частоты вращения начала действия регулятора [6].

Самым характерным показателем отказа топливного насоса УТН-5 из всех приведенных является увеличение неравномерности распределения топлива и снижение цикловой подачи топлива, которая составляет 29,2%.

Первопричиной неравномерности подачи топлива топливным насосом высокого давления рядного типа может являться нарушение требований комплектацией плунжерных пар в комплект по гидроплотности на приборе КИ-759.

Научно-исследовательские работы по изучению недостатка способа комплектации по гидроплотности достоверно подтверждают тот факт, что при подборе плунжерных пар в комплект данным способом, может увеличиться погрешность по неравномерности цикловой подачи топлива по линиям нагнетания до 30% [7].

На сегодняшний день не существует технических решений по рациональной оценке плунжерных пар, и характерным оценочным показателем на данном этапе при подборе плунжерных пар в комплект является гидроплотность.

В сервисных центрах оценочным показателем плунжерных пар при подборе в комплект является гидроплотность, которые комплектуют с разницей не более 2 секунд, при производстве новых топливных насосов годные плунжерные пары сортируют на группы по гидравлической плотности. На насос ставят пары одной гидравлической плотности.

Следовательно, оценка плунжерных пар по гидроплотности имеет место быть, и возможно, оказывает существенное значение на неравномерность цикловой подачи топлива по линиям нагнетания при комплектации их в комплект. В связи с чем, исследование, направленное на оценку плунжерных пар по гидроплотности, является актуальной задачей и представляет научный и практический интерес для агропромышленного комплекса.

Цель – изучить всевозможные факторы, которые впоследствии могут оказывать влияние на оценочный параметр и дать аналитическую оценку технического состояния исследуемых плунжерных пар при комплектации их в комплект по гидроплотности.

Величина гидроплотности зависит не только от технического состояния испытуемой плунжерной пары, но и от давления и вязкости жидкости испытательной системы, активного хода плунжера, величины и схемы приложения нагрузки как на плунжер, так и на уплотняющую заглушку, а также от точности контроля по времени и ряда других факторов [8].

Все вышеперечисленные факторы можно подразделить на две группы. К первой группе можно отнести те факторы, которые непосредственно влияют при разделении плунжерных пар в комплект по гидроплотности на одном и том же приборе при одних и тех же условиях, выполняющим операций одним и тем же специалистом.

К первой группе можно отнести активный ход плунжера, величину и схему приложения нагрузки как на плунжер, так и на уплотняющую заглушку, точность фиксации контроля по времени и ряда других факторов, которые независимо от специалиста при равных усло-

виях могут обнаружиться при дальнейших экспериментах.

Ко второй группе можно отнести все те факторы, которые не относятся к первой группе.

Влияние величины активного хода плунжера можно объяснить следующим образом: масса рычага и его размеры подобраны так, чтобы находясь в горизонтальном положении, ролик 11, упираясь на пятую плунжера по центру, давил с силой 125 Н (рисунок 1). Однако, с изменением активного хода, точка опоры ролика 11 на торец пяты плунжера смещается.

Активный ход топливных насосов плунжера автотракторных дизелей может колебаться 1...5 мм [8]. Изменение активного хода в сторону увеличения или уменьшения может составить 2 мм от среднего. Изменяется положение рычага 10 на 5 градусов от горизонтали, приводит к смещению положения точки опоры ролика 11 от центра торца плунжера, соответственно изменяющих плеча рычага, приводящее к изменению усилия давления на  $\pm 5$ Н (рисунок 1).

Влияние схемы приложения усилия можно объяснить следующим образом: рычаг 10 относительно стойки 15 имеет степень свободы вращения в горизонтальном направлении и в вертикальном направлении.

Поворачивая в горизонтальном направлении рычаг 10 относительно стойки 15 в процессе испытаний плунжерной пары, ролик 11 не всегда точно может попасть в центр (совпасть с центром) пяты плунжера, что в последствии может привести искажению ре-

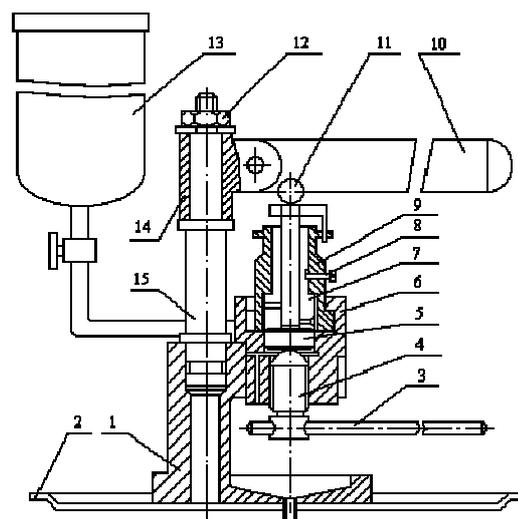


Рисунок 1 - Устройство для проверки гидравлической плотности плунжерных пар: 1 – основание стойки; 2 – поддон; 3 – вороток; 4 – винт; 5 – подпятник; 6 – корпус установочного механизма плунжерной пары; 7 - втулка плунжера; 8 – стопорный винт втулки плунжера; 9 – установочная головка; 10 – рычаг; 11 – ролик; 12 – гайка; 13 – емкость для топлива; 14 – втулка; 15 – стойка.

зультата эксперимента.

Следовательно, меняется схема приложения нагрузки, и происходит смещение точки опоры. Со смещением точки опоры, меняется сила воздействия, в то же время меняется сила трения в самих сопрягаемых поверхностях. При приложении силы на пятау плунжера с некоторым смещением от центра, возникает перераспределение реакций опор, что может привести к заклиниванию, или к уменьшению зазора с одной стороны плунжерной пары в условно взятом сечении и увеличению зазора с другой стороны в том же сечении. Увеличенный зазор сопрягаемой поверхности с любой стороны увеличивает протечку топлива в плунжерной паре и искажает результаты эксперимента.

Влияние усилия затяжки винта объясняется следующим образом. Под действием усилия затяжки винта 4 деформируется уплотняющий подпятник 5 и втулку плунжера 7, что приводит к изменению величины зазора в плунжерной паре и её гидроплотности.

Следовательно, усилие, прикладываемое к моменту затяжки винта и деформирующее уплотняющий подпятник и втулку плунжера, тоже можно отнести к фактору, влияющему на гидроплотность, так как при изменении усилия затяжки её величина меняется.

Измеряемое время в ходе оценки гидроплотности напрямую влияет на качество оценки плунжерных пар, так и от своевременного включения и выключения секундомера зависит точность оценки исследователя.

Влияние своевременного включения и выключения секундомера при определении гидроплотности можно объяснить следующим образом: в начале работы слесарь или исследователь может выполнить более точную фиксацию времени, к концу исследований точность фиксации может не удовлетворять оценочным показателям, следовательно, данный фактор тоже является показательным для оценки по гидроплотности плунжерных пар.

Факторы, относящиеся ко второй группе, можно не рассматривать, так как вопросы,

касающиеся этих факторов, по ГОСТ 10578-95 урегулированы при проведении лабораторных испытаний.

Для выявления влияния факторов на оценочный показатель плунжерной пары по гидроплотности был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент.

В качестве первого фактора было принято усилие затяжки винта подпятника прибора КИ-759 в следующих уровнях варьирования: основной - 200 Н·м, нижний – 100 Н·м, верхний – 300 Н·м (таблица 1).

В качестве второго фактора принята схема приложения нагрузки на торец плунжера, где смещение точки приложения ролика 11 от центра может меняться в пределах 0...10 градусов в обе стороны (за основное значение принят центр, где угол равен 0°).

В качестве оценочного показателя или выходного параметра плунжерной пары топливного насоса высокого давления является гидроплотность.

Эксперимент по оценке технического состояния плунжерных пар проводили на стенде КИ-759.

Оборудование и приборы стенда удовлетворяли требованиям ГОСТ 10578-95 [9].

Уровни и кодирование исследуемых факторов приведены в таблице 2.

Равноточность опытов (однородности дисперсий) осуществили по критерию Кохрена  $G < G_{табл.}$ . Табличное значение критерия Кохрена  $G_{табл. 0,05; 2; 95} = 4,256$  [10], экспериментальные значения критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{i \max}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{0,47}{1,4} = 0,335$$

что меньше табличного значения. Таким образом, условие равноточности опытов выполняется, гипотеза об однородности дисперсий подтверждается.

Расчет коэффициентов математической модели проведен по программе Statgraphics Plus 5.1.

В результате расчета была получена мате-

Таблица 1 - Номера обозначений плунжерных пар по характеристикам цикловой подачи на пусковом режиме

Номера обозначений	Время опрессовки, с	Пусковая подача за цикл, мм <sup>3</sup>	Максимально развиваемое давление, МПа	Разряд технического состояния
№ 1	менее 5	90	21,2	предельное граничное
№ 2	10...12	128	35,4	межграничное (между предельным и допустимым)
№ 3	15 ... 17	160	49,4	допустимое граничное
№ 4	60...65	210	65,4	начальное

Таблица 2 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Нормированные	Натуральные	Уровни варьирования		
			нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Усилие затяжки винта подпятника, Н·м.	x	M	100	200	300
Схема приложения нагрузки	y	$\beta$	5	0	10

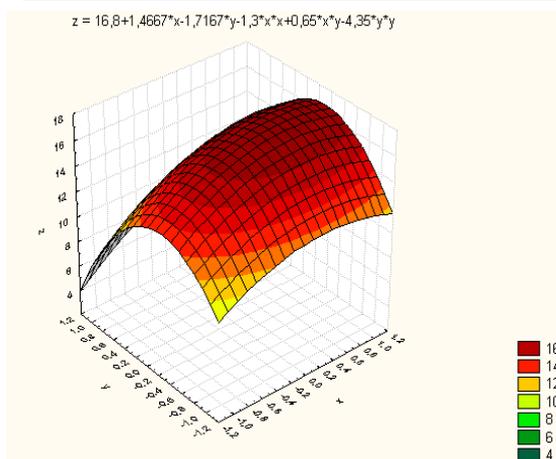


Рисунок 2 – Поверхность отклика испытываемых плунжерных пар на гидроплотность в зависимости от усилия затяжки винта подпятника - ось абсцисс (x) и схема приложения нагрузки на пяту плунжера - ось ординат (y).

математическая модель процесса подбора плунжерных пар в комплект по гидроплотности:

$$z = 16,8 + 1,4667x - 1,7167y - 1,3x^2 + 0,65xy - 4,35y^2 \quad (1)$$

После удаления незначимых коэффициентов получили новую математическую модель эксперимента:

$$z = 16,8 + 1,4667x - 1,7167y - 1,3x^2 - 4,35y^2 \quad (2)$$

После приравнивания частных производных математической модели к нулю и решения уравнений определяются значения факторов, обеспечивающих максимальную величину гидроплотности топлива у испытываемой плунжерной пары на приборе КИ-759.

Дифференциальные уравнения, полученные из уравнения (2):

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial x} = 1,4667 - 2,6x = 0 \\ \frac{\partial z}{\partial y} = 1,7167 - 8,7y = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Решая уравнения (3), получим:  $x = 1,13$ ;  $y = 0,39$ .

Для удобства интерпретации полученных результатов оптимальные значения раскодированы и получены следующие оптимальные значения исследованных величин: усилие затяжки винта подпятника прибора КИ-759 составило 313 Н·м; схема приложения нагрузки на пяту плунжера может отклониться до 3,9 градусов от середины.

Для наглядности результатов была построена поверхность отклика. Для построения графической интерпретации полученной математической модели использовалась программа Statistica 6.0.

Поверхность отклика, построенная в координатах, показана на рисунке 2.

**Выводы:** 1. Согласно уравнению (2), усилия затяжки винта подпятника (x) оказывают влияние на оценочный показатель гидроплотности испытываемой плунжерной пары до 15%, а схема приложения нагрузки на пяту плунжера – до 19%.

2. Полученная математическая модель позволяет оценить плунжерную пару с допустимым граничным износом на гидроплотность на приборе КИ-759 при их комплектации в комплект и прогнозировать относительную ошибку укомплектованных плунжерных пар.

#### Литература

1. Доброхотов Ю.Н., Мертвый ход плунжера как диагностический параметр топливных насосов распределительного типа / Ю.В. Иванчиков, А.О. Васильев, Р.В. Андреев // Вестник Казанского ГАУ. № 4.– Казань – 2017, с. 78-83.
2. Иванов, В.А. Повышение долговечности распределительных топливных насосов высокого давления путем модернизации: дис. канд. техн. наук. – М.: 2011. – 192 с.
3. Кулаков М.М. Оценка потенциала работоспособности плунжерной пары дизеля. / М.М. Кулаков, В.А. Иванов // Мат. Респуб. науч.-практ. конф. «Наука в развитии села». – Чебоксары, 2009. – С. 212...216.
4. Иванов В.А. Концепция ремонта плунжерных пар топливной аппаратуры / В.А. Иванов // Международный технико-экономический журнал. –2010. – № 5. – С.69-72.
5. Иванов В.А. Ремонт топливovпрыскивающего насоса дизеля / В.А. Иванов, М.М. Кулаков // Труды ГОСНИТИ. – М., 2008. – Т. 102. – С. 61-65.
6. Габитов И.И. Топливная аппаратура автотракторных дизелей/ И.И. Габитов, А.В. Неговора. – Уфа: Изд-во БашГАУ, 2004. –216 с.
7. Лебедев В.Г. Анализ оценочных показателей технического состояния плунжерных пар ТНВД дизеля / В.Г. Лебедев, В.А. Иванов // Мат. Всерос. науч. - практ. конф. «Перспективы развития технического сервиса

в агропромышленном комплексе», посвященной 50-летию создания кафедры: сб. науч. трудов. – Чебоксары: ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2014. – С. 89-90.

8. Иванов В.А. Факторы, влияющие на оценочный показатель подбора плунжерных пар в комплект гидроплотности / В.А. Иванов, В.Н. Гаврилов, А.М. Новиков, А.В. Семенов // Мат. всерос. науч.-практ. конф. «Агроэкологические и организационно-экономические аспекты создания и эффективного функционирования экологически стабильных территорий: сб. науч. трудов. – Чебоксары, 2017. – С. 385-389.

9. ГОСТ 10578-95.

10. Хайлис, Г.А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. -169 с.

**Сведения об авторах:**

Казakov Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор, E-mail: ura.kazakov@mail.ru

Иванов Владимир Андреевич – кандидат технических наук, доцент, E-mail: Vladimir21VA@mail.ru

ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

**ANALYTICAL ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF PLUNGER PAIR WHEN COMPLETED BY HYDRODENSITY**

**Kazakov Yu.F., Ivanov V.A.**

**Abstract.** The paper considers the factors influencing the estimated indicator of the technical state of the plunger pairs, when they are equipped according to the hydrodensity. To determine the influence of factors on the estimated value of the plunger pair in terms of hydrodensity, a two-factor experiment was planned and implemented, and a mathematical model was obtained for the process of selecting plunger pairs as a set for hydro-densities. On the basis of the research, it is suggested to complete the plunger pairs as a set on the KI-759 device with a mathematical dependence to reduce the error.

**Key words:** hydrodensity, high-pressure fuel pump, uneven cyclic fuel supply.

**References**

1. Dobrokhotoy Yu.N. Lost motion of plunger as a diagnostic parameter of distribution fuel pumps. [Mertvyi khod plunzhera kak diagnosticheskiy parametr toplivnykh nasosov raspredelitel'nogo tipa]. / Yu.V. Ivanschikov, A.O. Vasilev, R.V. Andreev // *Vestnik Kazanskogo GAU. – The herald of Kazan SAU.* № 4, Kazan – 2017, P. 78-83.

2. Ivanov V.A. *Povyshenie dolgovechnosti raspredelitel'nykh toplivnykh nasosov vysokogo davleniya putem modernizatsii: dis. kand. tekhn. nauk.* (Increase of durability of distributive fuel pumps of high pressure by modernization: dissertation for a degree of Ph.D. of Technics). – М.: 2011. – P. 192.

3. Kulakov M.M. *Otsenka potentsiala rabotosposobnosti plunzhernoy pary dizelya.* // *Mat. Respub. Nauch.-prakt. Konf. "Nauka v razvitiy sela"*. (Evaluation of the performance potential of the plunger pair of the diesel engine. / M.M. Kulakov, V.A. Ivanov // *Proceedings of the Republic Scientific and Practical Conference "Science in village development"*). – Cheboksary, 2009. – P. 212...216.

4. Ivanov V.A. The concept of repair of plunger pairs of fuel equipment. [Kontseptsiya remonta plunzhernykh par toplivnoy apparatury]. / V.A. Ivanov // *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskiy zhurnal. - International Technical and Economic Journal.* -2010. - № 5. - P. 69-72.

5. Ivanov V.A. *Remont toplivovpryskivayushchego nasosa dizelya.* // *Trudy GOSNITI.* [Repair of diesel fuel-injection pump. / V.A. Ivanov, M.M. Kulakov // *Proceedings of GOSNITI.* - М., 2008.- Vol. 102. - P. 61-65.

6. Gabitov I.I. *Toplivnaya apparatura avtotraktornykh dizeley.* [Fuel equipment of autotractor diesels]. / I.I. Gabitov, A.V. Negovora. – Ufa: Izd-vo BashGAU, 2004. – P. 216.

7. Lebedev V.G. *Analiz otsenochnykh pokazateley tekhnicheskogo sostoyaniya plunzhernykh par TNVD dizelya.* // *Mat. Vseros. nauch. - prakt. konf. "Perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse", posvyaschennoy 50-letiyu sozdaniya kafedry: sb. nauch. trudov.* (Analysis of estimated indicators of the technical condition of plunger pairs of the fuel pump for diesel. / V.G. Lebedev, V.A. Ivanov // *Proceedings of All-Russian scientific and practical conference. "Prospects for the development of technical services in the agro-industrial complex"*, dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the department: collection of scientific papers). – Cheboksary: FGBOU VPO ChGSKhA, 2014. – P. 89-90.

8. Ivanov V.A. *Faktory, vliyayushchie na otsenochnyy pokazatel podbora plunzhernykh par v komplet po gidroplotnosti.* // *Mat. vseros. nauch.-prakt. konf. "Agroekologicheskie i organizatsionno-ekonomicheskie aspekty sozdaniya i effektivnogo funktsionirovaniya ekologicheski stabilnykh territoriy: sb. nauch. trudov.* (Factors influencing the estimated parameter of selection of plunger pairs in the set for hydro-densities. / V.A. Ivanov, V.N. Gavrilov, A.M. Novikov, A.V. Semenov // *Proceedings of All-Russian scientific and practical conference "Agro-ecological and organizational-economic aspects of creation and effective functioning of ecologically stable territories: collection of scientific papers).* – Cheboksary, 2017. – P. 385-389.

9. *GOST 10578-95.* (State Standard 10578-95).

10. Khaylis G.A. *Issledovaniya selskokhozyaystvennoy tekhniki i obrabotka opytnykh dannykh.* [Studies of agricultural machinery and processing of experimental data]. / G. A. Khaylis, M.M. Kovalev. – М.: Kolos, 1994. – P. 169.

**Authors:**

Kazakov Yuriy Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, E-mail: ura.kazakov@mail.ru

Ivanov Vladimir Andreevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, E-mail: Vladimir21VA@mail.ru

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Chuvash Republic, Russia.