DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-34-37
УДК 631.5**А. Т. Лебедев, А. Л. Болотоков, П. А. Лебедев**

Lebedev A. T., Bolotokov A. L., Lebedev P. A.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

INCREASE OF DURABILITY OF INJECTOR NOZZLES AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES

Проведен анализ надежности форсунок дизельных двигателей, в ходе которого было установлено, что причиной снижения работоспособности является потеря герметичности запирающего конуса распылителя, заклинивание иглы в направляющей корпуса и закоксовывание распылителей форсунок. Установлено, что на течение топлива по каналам форсунок распылителя существенное влияние оказывают граничные условия, обусловленные силами молекулярного взаимодействия, действующими на границе раздела жидкой и твердой фаз. В прецизионном зазоре под действием этих сил происходит адсорбция полярноактивных молекул жидкости на рабочих поверхностях сопряженных деталей, на которых через некоторое время формируются пограничные слои. На интенсивность процесса облитерирования каналов и характер течения жидкости через зазор существенное влияние оказывает загрязненность жидкости твердыми и вязкими включениями. Для повышения долговечности распылителей и форсунок в целом, снижения износа их рабочих поверхностей, уменьшения влияния указанных факторов нами предложена модернизация иглы распылителя. На игле распылителя выполнена винтовая канавка в направляющей части иглы под углом α , с радиусом r , которая способствует осесимметричному давлению на иглу жидкости, перетекающей из канавок в зазор S между корпусом и направляющей части иглы распылителя дизельной форсунки. За счет наличия топлива в винтовом канале происходит смазывание, а также смягченный закручивающий удар конуса иглы о седло корпуса. При проведении исследований было установлено, что увеличение суммарного зазора коэффициента сопротивления щели не снижается ниже 0,4. Поэтому можно выполнить объем винтовой канавки, равной 0,5...0,9 от зазора V_s .

Ключевые слова: дизельная форсунка, распылитель, работоспособность, ресурс, долговечность, расход топлива, износостойкость.

The analysis of the reliability of diesel engine injectors, during which it was found that the cause of reduced efficiency is the loss of tightness of the locking cone of the sprayer, the jamming of the needle in the guide housing and the pumping nozzles of the injectors. The SRT for the fuel flow through the channels of the atomizer nozzle is significantly influenced by the boundary conditions caused by the molecular interaction forces acting on the interface between the liquid and solid phases. In the precision gap, under the action of these forces, the adsorption of polar active liquid molecules takes place on the working surfaces of the conjugated parts, on which the boundary layers are formed after a certain time. The intensity of the process of channel obliteration and the nature of the liquid flow through the gap is significantly influenced by the contamination of the liquid with solid and viscous inclusions. To increase the durability of sprayers and injectors in General, reduce the wear of their working surfaces, reduce the influence of these factors, we propose a modernization of the needle of the sprayer. A screw groove in the guide part of the needle at an angle α , with a radius r , is made on the needle of the sprayer, which promotes the axisymmetric pressure on the needle of the liquid flowing from the grooves to the gap S between the housing and the guide part of the needle of the diesel nozzle. Due to the presence of fuel in the screw channel, lubrication occurs, as well as a softened twisting blow of the needle cone on the seat of the body. The studies found that the increase in the total gap gap resistance coefficient is not reduced below 0.4. Therefore, you can perform the volume of the screw groove is 0.5 ... 0.9 of the gap V_s .

Key words: diesel injector, atomizer, performance, life, durability, fuel consumption, wear resistance.

Лебедев Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технического сервиса, стандартизации и метрологии ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» г. Ставрополь
Тел.: 8-961-498-64-23
E-mail: lebedev.1962@mail.ru

Болотоков Анзор Леонидович – старший преподаватель кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в АПК ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова» г. Нальчик
Тел.: 8-964-033-63-55
E-mail: anzor.n@inbox.ru

Лебедев Павел Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, стандартизации и метрологии ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» г. Ставрополь
Тел.: 8-928-318-80-00
E-mail: zoya_lebedeva@mail.ru

Lebedev Anatoly Timofeevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Service, Standardization and Metrology FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» Stavropol
Tel.: 8-961-498-64-23
E-mail: lebedev.1962@mail.ru

Bolotokov Anzor Leonidovich – Senior Lecturer of the Department of Technology of Maintenance and Repair of Machines in Agriculture FSBEI HE «Kabardino-Balkarskoe State Agrarian University name V. M. Kokova» Nalchik
Tel.: 8-964-033-63-55
E-mail: anzor.n@Inbox.ru

Lebedev Pavel Anatol'evich – Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor the Department of Technical Service, Standardization and Metrology FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University» Stavropol
Tel.: 8-928-318-80-00
E-mail: zoya_lebedeva@mail.ru

От работоспособности распылителя дизельной форсунки зависит качество распыливания и точность дозирования топлива, а также мощность, работоспособность, экономичность и надежность дизеля.

Исследования показали, что форсунки выходят из строя в основном в результате потери герметичности запирающего конуса распылителя, заклинивания иглы в направляющей корпуса и закоксовывания распылителей форсунок [1, 2].

На течение жидкости по каналам форсунки распылителя существенное влияние оказывают граничные условия, обусловленные силами молекулярного взаимодействия, действующими на границе раздела жидкой и твердой фаз. Под действием этих сил в прецизионном зазоре между корпусом и иглой распылителя происходит адсорбция полярноактивных молекул жидкости на рабочих поверхностях сопряженных деталей, на которых через некоторое время формируются пограничные слои. Они имеют аномальную вязкость, которая отличается по величине и свойствам от объемной вязкости. В частности, при известной толщине слоя жидкость, образующая этот слой, приобретает свойства упругой прочности на сдвиг.

Рассматриваемое явление получило название облитерации (заращивания) капиллярных каналов и щелей. Облитерация представляет собой сложный физико-химический процесс, обусловленный адсорбцией полярных молекул жидкости на твердых поверхностях каналов, а также отложением на них смол и иных активных компонентов рабочей жидкости [3, 4]. На интенсивность процесса облитерирования каналов и характер течения жидкости через зазор существенное влияние оказывает загрязненность жидкости твердыми и вязкими включениями. Они, с одной стороны, отфильтровываясь в щели, механически закупоривают ее, а с другой — способствуют образованию на поверхностях щелей многослойной адсорбции полярноактивных молекул жидкости. Процесс заращивания щели протекает особенно интенсивно, когда размеры частиц загрязнителя соизмеримы с величиной зазора. Полное заращивание в этом случае обычно происходит в течение 1 мин и менее. Однако полная облитерация (заращивание) щели может наступить лишь при определенных условиях. Это обусловлено тем, что активность поля поверхности щели уменьшается с увеличением расстояния в нормальном к ней направлении. Следовательно, сила сцепления частиц жидкости с рабочими поверхностями щели и между собой будет неодинакова по толщине слоя облитерации. При известной толщине адсорбционного покрытия средние слои становятся столь рыхлыми, что не могут противодействовать усилию сдвига от действия перепада давления жидкости, в результате чего они будут выдавливаться из щели.

При уменьшении же размера щели до некоторого размера толщина облитерированных квазитвердых слоев становится такой, что они могут сомкнуться и движение (расход) жидкости через щель прекратится [5].

Применительно к рассматриваемому объекту исследования – распылителю форсунки указанные условия приводят к перекосу иглы при ее движениях, «прихватыванию» и зависанию. Для повышения долговечности распылителей и форсунок в целом, снижения износа их рабочих поверхностей, уменьшения влияния указанных факторов нами предложена модернизация иглы распылителя [6]. Схема распылителя представлена на рисунке 1.

На игле распылителя выполнена винтовая канавка в направляющей части иглы под углом α , с радиусом r , которая способствует осесимметричному давлению на иглу жидкости, перетекающей из канавок в зазор S между корпусом 1 и направляющей частью 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.

Рисунок 1 – Схема иглы распылителя с винтовыми канавками

Для снижения облитерации и повышения долговечности распылителя дизельных форсунок на направляющей части иглы распылителя 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 V_k в долях от величины зазора между корпусом и иглой распылителя, который определяет объем топлива в щели V_δ .

Для разработки матрицы и методики проведения эксперимента, а также выбора наиболее значимых факторов, согласно теоретическим подходам и предложенной рабочей гипотезе, установлено, что снижение долговечности и интенсивное развитие облитерации распылителя автотракторных дизелей зависит в первую очередь от степени загрязненности топлива $C_{заг}$ и объема топлива в щели распылителя V_δ . Эти параметры вызывают изменение коэффициента сопротивления щели. Поэтому за параметр оптимизации процесса облитерации распылителя форсунки автотракторных дизелей принято отношение расходов топлива (коэффициента сопротивления щели) в конце Q_k и начале проливки Q_n . Таким образом, требовалось получить зависимость $Q_k/Q_n = f(C_{заг}, V_k)$.

Параметр оптимизации обозначен символом Y . Для выбранного плана проведения эксперимента уравнение регрессии в общем виде имеет вид

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_1 \cdot X_2,$$

где $b_0 \dots b_3$ – коэффициенты модели; X_1, X_2 – факторы влияния. В качестве факторов приняли: X_1 – степень загрязненности $C_{заг}$ %; X_2 – объем топлива в винтовой канавке модернизированного распылителя V_k , мм³.

В таблице представлены реальные значения факторов и в кодированном виде (табл. 1).

При построении плана матрицы планирования эксперимента в виде таблицы (табл. 2), в строках указаны данные опытов, в столбцах – факторы (в кодах «+» и «-») с реализацией возможных сочетаний факторов. Для выбора рационального сочетания объема топлива в винтовой канавке V_k и загрязненности $C_{заг}$ подобные матрицы планирования эксперимента были реализованы в 2 вариантах.

Для определения эффективности работы нами 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 $\frac{Q_k}{Q_n}$, по оси абсцисс – величина объема топлива в винтовом канале V_k в зависимости от объема топлива в зазоре V_δ :

$$V_k = f(0,1;0,5;0,9) V_\delta.$$

Объем в зазоре определяется по формуле

$$V_\delta = \frac{\pi(d_k - d_n)^2}{4} \cdot h.$$

Подставив данные при $d_k = 6,03$ мм, $d_n = 6,0027$ мм, $h = 20$ мм, получим $V_\delta = 0,123$ мм³.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов Т

Уровень	Факторы			
	Степень загрязненности топлива $C_{заг}$ %		Объем топлива в винтовой канавке V_k , мм ³	
	X_1		X_2	
Верхний	$20 \cdot 10^{-4}$	+1	$V_k = 0,9 V_\delta$	+1
Нижний	$2 \cdot 10^{-4}$	-1	$V_k = 0,1 V_\delta$	-1
Основной	$11 \cdot 10^{-4}$	0	$V_k = 0,5 V_\delta$	0
Интервал	$9 \cdot 10^{-4}$		$0,4 V_\delta$	

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

Номер опыта, №	X	
	X_1	X_2
1	+1	+1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	-1	-1

Рисунок 2 – Изменение коэффициента сопротивления щели в зависимости от загрязненности топлива и объема топлива в зазоре

Для определения объема спирали используем следующие параметры: n – число витков спирали, α – угол подъема витка и R – радиус спирали, S – шаг спирали. Между указанными параметрами существуют следующие соотношения: $\operatorname{tg} \alpha = \pi D / S$, $\sin \alpha = S / l$, $l = n \cdot S$, $l^2 = (2\pi R)^2 + S^2$, $V_k = l \cdot \frac{\pi d^2}{8}$

Подставив значения, получим:

при $\alpha = 45^\circ$, $R_k = 0,002$ мм, $l = 22$ мм, $V_k = 0,098$ мм³;

при $\alpha = 40^\circ$, $R_k = 0,002$ мм, $l = 18,7$ мм, $V_k = 0,839$ мм³;

при $\alpha = 30^\circ$, $R_k = 0,002$ мм, $l = 17$ мм, $V_k = 0,026$ мм³.

Из графика видно, что при $V_k = 0,1V_\delta$ и наибольшей загрязненности топлива коэффициент сопротивления щели $\frac{Q_k}{Q_n} = 0,1$. В этом случае суммарный зазор на 10 % больше исходного,

и это вызывает высокую степень облитерации щели в распылителе форсунки.

При той же степени загрязненности топлива, но при практически увеличенном в 2 раза суммарном зазоре $V_k + V_\delta = 1,9$ зарастивание щели происходит незначительно, расход жидкости снижается в пределах не более 20 %, а коэффициент сопротивления щели составит $\frac{Q_k}{Q_n} = 0,8 \dots 0,9$. Поэтому при увеличении суммарного зазора коэффициент сопротивления щели не снижается ниже 0,4. Поэтому можно выполнить объем винтовой канавки, равной $0,5 \dots 0,9$ от зазора V_δ .

Таким образом, при модернизации иглы распылителя снижается вероятность «прихватавания» и зависания иглы, контактное выкрашивание направляющей поверхности иглы корпуса, что способствует повышению надежности, работоспособности распылителя дизельной форсунки.

Литература

1. Гурин Т. Ю. Повышение долговечности форсунок автотракторных дизелей модернизацией распылителей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. 5 с.
2. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов / А. Т. Лебедев, О. П. Наумов, Р. А. Магомедов, А. В. Захарин, П. А. Лебедев, Р. В. Павлюк. Ставрополь, 2015. 332 с.
3. Петросов В. В. Ремонт автомобилей и двигателей. М. : Академия, 2007. 224 с.
4. Трение, изнашивание и смазка : справочник : в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. И. В. Каргельского и В. В. Алисина. М. : Машиностроение, 1989. 358 с.
5. Шарифуллин С. Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизелей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2009. 10 с.
6. Пат. 2231673 Российская Федерация, МПК F02M61/10. Распылитель дизельной форсунки / Ю. М. Хаширов, Х. У. Бугов, А. Л. Болотоков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. № 2001131630 ; заявл. 22.11.2001 ; опубл. 27.06.04, Бюл. № 15. 9 с.

References

1. Gurin T. Yu. Increase of durability of injectors automotive diesel engines modernisation of sprayers: abstract of dissertation of candidate of technical Sciences. Novosibirsk, 2010. 5 p.
2. Reliability and effectiveness of MTA when performing technological processes / A. T. Lebedev, O. P. Naumov, R. A. Magomedov, A. V. Zacharin, P. A. Lebedev, R. V. Pavlyuk. Stavropol, 2015. 332 p.
3. Petrosov V. V. Repair of cars and engines. M. : Academy, 2007. 224 p.
4. Friction, wear and lubrication: handbook: in 2 books. Book 2 / under the editorship of I. V. Karelskii and V. V. Alisin. M. : Machine Building, 1989. 358 p.
5. Sharifullin S. N. Improving the operational reliability of high-pressure fuel pumps of motor diesel engines: abstract of dissertation of doctor of technical Sciences. Moscow, 2009. 10 p.
6. Patent 2231673 Russian Federation, IPC F02M61/10. Diesel atomizer / Y. M. Khashirov, H. Y. Bygov, L. A. Bolotokov ; applicant and patent holder FSBEI HE Kabardino-Balkar SAU. № 2001131630 ; declared about 22.11.2001 ; published 27.06.04, Bulletin № 15. 9 p.