

**Болотоков А.Л.**  
**Bolotokov A. L.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ФОРСУНКИ ДИЗЕЛЯ**

### **A STUDY OF THE INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE SPRAYER ON THE PERFORMANCE OF DIESEL INJECTORS**

Надежность и долговечность форсунок обусловлены стабильностью показателей работы и безотказностью распылителей. Для повышения эксплуатационных параметров распылителя дизельных форсунок и снижения облитерации предлагается модернизация иглы распылителя путем выполнения винтовой канавки в направляющей части иглы распылителя. Топливо, перетекающее из канавки в зазор, способствует осесимметричному давлению на иглу распылителя дизельной форсунки. За счет наличия топлива в винтовом канале и зазоре происходит смазывание, а также смягченный закручивающий удар конуса иглы о седло корпуса вместо прямого жесткого удара наблюдаемого в серийных распылителях. Объем топлива в винтовом канале зависит от объема топлива в щели. При увеличении зазора коэффициент сопротивления щели не снижается ниже 0,4, поэтому объем винтового канала будет 0,5...0,9 от объема зазора  $V_{\delta}$ .

Reliability and durability of injectors are due to the stability of performance and reliability of sprayers. To improve the durability of diesel injector spray and reduce the obliteration, we offer upgrade of the atomizer needle by making a screw groove in the guide part of the atomizer needle. Fuel flowing from the groove into the gap contributes to the pressure on the needle of the diesel injector spray. 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 instead of a direct hard blow, in serial sprayers. The amount of fuel in the screw channel depends on the amount of fuel in the slit. When increasing the gap resistance coefficient of the gap is not reduced below 0.4. With increasing gap resistance coefficient of the gap is not reduced below 0.4, so the volume of the screw channel will be 0.5 ... 0.9 of the gap  $V_{\delta}$ .

**Ключевые слова:** дизель, распылитель, форсунка, испытание, ресурс, работоспособность.

**Key words:** diesel, spray, nozzle, test, resource, efficiency.

**Болотоков Анзор Леонидович** – старший преподаватель кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в АПК, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик  
Тел.: 89640336355  
E-mail: [anzor.n@Inbox.ru](mailto:anzor.n@Inbox.ru)

**Bolotokov Anzor Leonidovich** – Senior lecturer of the Department of technology of maintenance and repair of machines, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

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

анализ работы распылителя в зависимости от наработки и влияния на топливную аппаратуру. Охарактеризованы основные виды износов прецизионных поверхностей распылителей, а также их влияние на работоспособность распылителя. Применение распылителя с модернизированной иглой распылителя дизельной форсунки, позволяющей увеличить долговечность форсунок.

**Методы проведения исследований.** Экспериментальные исследования предусматривали проведение безмоторных, стендовых ускоренных испытаний распылителей.

В ходе экспериментальных исследований осуществлено последовательное проведение следующих этапов: контрольных этапов с использованием регулировочных стендов.

Целью опытов было установить влияние объема топлива, находящегося в винтовой канавке в долях от величины зазора между корпусом и иглой распылителя, который определяет объема топлива в щели.

**Экспериментальная база, ход исследования.** Продолжительность рабочих этапов составляла 500 моточасов. Исследования заканчивались после наработки не менее 4000 моточасов контрольным этапом.

Всего проведено 8 контрольных этапов. Каждый контрольный этап предварялся проверкой показателей контрольного насоса, имеющего контрольный комплект форсунок и топливопроводы высокого давления (ТВД).

Каждый контрольный этап предполагал решение в научно-исследовательской лаборатории кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ следующих задач:

- определить эффективное проходное сечение распылителя;
- объем топлива в винтовой канавке;
- коэффициента сопротивления щели.

За значение параметра, определяющего предельное состояние распылителя, принимается ресурс распылителей [3, 4].

Исследования проводились с использованием:

- форсунок ФД-22 с распылителями РД 4×0,32 (30 шт., из которых 26 оснащены распылителями);
- топливных насосов УТН-5 (1 шт.);
- ТВД (10 шт.);
- стенда СДГА-2;
- прибора КИ-3333;
- стенда для испытания форсунок дизелей КИ-35478;
- комплекта оснастки КИ-15713 и стенда КИ-921М;

От работоспособности распылителя дизельной форсунки зависит качество распыления 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 полярно-активных 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 поляризованных 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 полярно-активных молекул жидкости. Процесс зарастивания щели протекает особенно интенсивно, когда размеры частиц загрязнителя соизмеримы с величиной зазора. Полное зарастивание в этом случае обычно происходит в течение 1 мин и менее. Однако полная облитерация (зарастивание) 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.

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 (патент №2231673) [5]. Схема распылителя представлена на рисунке 1.

На игле распылителя выполнена винтовая канавка в направляющей части иглы под углом  $\alpha$ , с радиусом  $r$ , которая способствует осесимметричному

давлению на иглу жидкости, перетекающей из канавок в зазор  $S$  между корпусом 1 и направляющей части 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. 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.

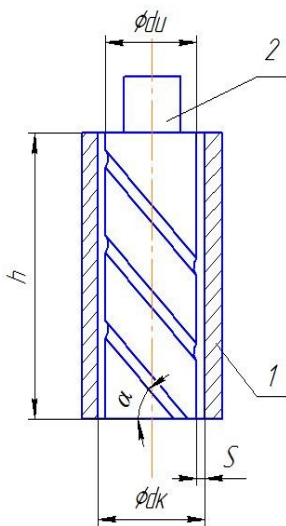


Рисунок 1. Схема иглы распылителя с винтовыми канавками

Для разработки матрицы и методики проведения эксперимента, а также выбора наиболее значимых факторов, согласно теоретическим подходам и предложенной рабочей гипотезы, 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  $V_{\delta}$ . 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:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (1)$$

где  $b_0...b_3$  – 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  $V_k$ , мм<sup>3</sup>.

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

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Уровни	Факторы			
	степень загрязненности топлива $C_{заг}$ , %;		объем топлива в винтовой канавке $V_k$ , мм <sup>3</sup>	
	$X_1$		$X_2$	
Верхний	$20 \cdot 10^{-4}$	+1	$V_k=0,9V_\delta$	+1
Нижний	$2 \cdot 10^{-4}$	-1	$V_k=0,1V_\delta$	-1
Основной	$11 \cdot 10^{-4}$	0	$V_k=0,5V_\delta$	0
Интервал	$9 \cdot 10^{-4}$		$0,4V_\delta$	

При построении плана матрицы планирования эксперимента в виде таблицы (таблица 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.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

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

**Результаты исследования.** Для того, чтобы, определить эффективность работы нами проведены эксперименты по вышеуказанным планам (рисунок 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  $V_\delta$ .

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

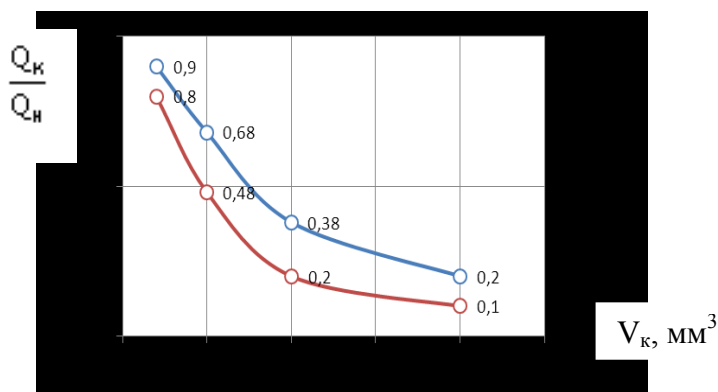


Рисунок 2 – Изменение коэффициента сопротивления щели в зависимости от загрязненности топлива и объема топлива в зазоре.

Объем в зазоре определяется по формуле  $V_\delta = \frac{\pi(d_k - d_u)^2}{4} \cdot h$ , Подставив данные при  $d_k=6,03$  мм,  $d_u=6,0027$  мм,  $h=20$  мм, получим  $V_\delta = 0,123$  мм³. Для определения объема спирали используем следующие параметры:  $n$  — число витков спирали,  $\alpha$  — 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  $\frac{Q_k}{Q_n}=0,8\dots0,9$ . Поэтому при увеличении суммарного зазора коэффициент сопротивления щели не снижается ниже 0,4. Поэтому можно выполнить объем винтовой канавки, равный 0,5...0,9 от зазора  $V_\delta$ .

Таким образом, модернизация иглы распылителя снижает вероятность «прихватывания» и зависания иглы, контактное выкрашивание направляющей поверхности иглы корпуса, что способствует повышению надежности, работоспособности распылителя дизельной форсунки.

**Область применения результатов.** Результаты исследования могут быть использованы сельскохозяйственными и ремонтно-обслуживающими предприятиями.

**Выводы.** Одним из перспективных направлений повышения работоспособности форсунок является совершенствование свойств рабочих поверхностей прецизионных деталей (патент № 2231673). За счет винтовой канавки, выполненной на направляющей части, происходит проворачивание иглы распылителя, исключается облитерация и схватывание рабочих поверхностей иглы и корпуса распылителя, обеспечивается равномерный износ запирающей части с меньшей интенсивностью. Установлено, что параметры винтовой канавки, обеспечивающие коэффициент сопротивления щели не менее 80% при загрязнении топлива в пределах 0,0002...0,002%, следующие: объем 0,301 м<sup>3</sup>, угол подъема 30°, радиус 0,133 мм, длина 21,71 мм.

### Литература

1. Батыров В.И., Болотоков А.Л. Повышение надежности работы распылителя форсунки дизелей / Техника в сельском хозяйстве. 2012. №3. С. 12-15.
2. Лебедев А.Т., Болотоков А.Л., Лебедев П.А. Повышение долговечности распылителей форсунок автотракторных дизелей / // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – №2. С. 34-37.
3. Лебедев А. Т., Лебедев П. А., Апажев А. К., Егожев А. М., Болотоков А. Л. Повышение экономичности дизельных двигателей с модернизированным распылителем форсунки / / научный журнал фармацевтических, биологических и химических наук. - 2018. RJPBCS 9(6). С. 737-742.



4. Батыров В.И., Губжоков Х.Л., Болотоков А.Л. Изменения параметров распыливающих отверстий форсунок автотракторных дизелей в эксплуатации // Материалы Международной научно-практической конференции «Молодёжный форум: технические и математические науки». – Воронеж: Воронежский ГЛТУ, 2015. С.83-85.

5. 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. С.9.

### References

1. Batyrov V. I., Bolotokov A. L. improving the reliability of the spray nozzle diesel engines / Equipment in agriculture. 2012. No. 3. Pp. 12-15.

2. Lebedev A. T., Bolotokov A. L., Lebedev P. A. Increasing the durability of atomizers injectors of tractor diesels. Vestnik agroindustrial complex of Stavropol. – 2018. - No. 2. Pp. 34-37.

3. Lebedev A. T., Lebedev P. A., Apages A. K., Yegorzhev a.m., Bolotokov A. L. Improving the efficiency of diesel engines with an upgraded atomizer nozzle // scientific journal of pharmaceutical, biological and chemical Sciences. - 2018. RJPBCS 9(6). Pp. 737-742.

4. Batyrov V. I., Gubzhokov H. L., Bolotokov A. L. Changes of parameters of atomizing holes of injectors of motor-tractor diesels in operation // / Materials of the International scientific and practical conference "Youth forum: technical and mathematical Sciences".- Voronezh: Voronezh GLTU, 2015. Pp. 83-85.

5. Pat. 2231673 Russian Federation, IPC F02M61/10. Sprayer diesel injector / Yu. M. Khashirov, H. U. Bugov, A. L. Bolotokov; applicant and patent holder fgbou VO Kabardino-Balkar GAU. No. 2001131630; declared. 22.11.2001; publ. 27.06.04, Byul. No. 15. С. 9.