

Научная статья

УДК 621.43.031

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-28-33

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТНВД НА ИЗНОС ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ПРИ РАБОТЕ НА НЕФТЯНОМ И БИОНЕФТЯНОМ ТОПЛИВАХ

Александр Петрович Уханов¹, Олег Станиславович Володько², Евгений Геннадьевич Ротанов³

¹Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

²Самарский государственный аграрный университет, Самара, Россия

³Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

¹dispgau@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2210-5294>

²volodko-75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8478-1358>

³evgenij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4954-6111>

Резюме. Цель исследований – выполнить экспериментальную оценку износных показателей плунжерных пар рядного четырехсекционного топливного насоса высокого давления (ТНВД) по результатам безмоторных сравнительных ускоренных испытаний при одновременной работе двух насосных секций на нефтяном дизельном топливе и двух других – на бионефтяном топливе, растительным компонентом которого является рапсовое масло. На сегодняшний день одной из глобальных проблем человечества является декарбонизация энергетики. Важным вектором развития по достижению углеродной нейтральности является снижение вредных выбросов автотранспортными средствами, образующихся при сгорании моторных топлив в двигателях внутреннего сгорания, за счет применения альтернативных топлив из возобновляемых источников сырья с малым «углеродным следом». Перспективным направлением в производстве альтернативных дизельных топлив из возобновляемой биомассы считается бионефтяное топливо (БНТ), компонентами которого являются натуральное растительное масло и товарное нефтяное дизельное топливо (НДТ) в определенном соотношении. В современных условиях перехода работы дизелей автотранспортных средств с традиционных видов моторного топлива на альтернативные топлива возникает необходимость проведения экспериментальных исследований по оценке влияния БНТ на износ плунжерных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД), как основного узла дизельной топливной аппаратуры. Полученные результаты ускоренных износных испытаний плунжерных пар четырехсекционного ТНВД на безмоторном стенде при одновременной работе двух его секций на НДТ и двух других – на рапсовом БНТ, свидетельствуют о том, что при работе ТНВД на БНТ износные показатели ниже по сравнению с работой на товарном НДТ.

Ключевые слова: топливный насос высокого давления, плунжерные пары, ускоренные испытания, нефтяное дизельное топливо, смесевое бионефтяное топливо, показатели износа.

Для цитирования: Уханов А. П., Володько О. С., Ротанов Е. Г. Сравнительные ускоренные испытания ТНВД на износ плунжерных пар при работе на нефтяном и бионефтяном топливах // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 28-33. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-28-33

Original article

COMPARATIVE ACCELERATED WEAR TESTING OF FUEL INJECTORS PLUNGER PAIRS IN OPERATION WITH OIL AND BIO-OIL FUELS

Alexander P. Ukhanov¹, Oleg S. Volodko², Evgeniy G. Rotanov³

¹Penza State Agrarian University, Penza, Russia

²Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara Region, Russia

³K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

Abstracts. The purpose of the research is to perform an experimental assessment of the wear characteristics of plunger pairs of an inline four-section high-pressure fuel pump (injection pump) HPFP based on the results of non-motorized comparative accelerated tests with simultaneous operation of two pumping sections on petroleum diesel

fuel and two others on bio-oil fuel, the vegetable component of which is rapeseed oil. Today, one of the global problems of mankind is the decarbonization of energy. An important vector of development to achieve carbon neutrality is the reduction of harmful emissions from motor vehicles generated by the combustion of motor fuels in internal combustion engines through the use of alternative fuels from renewable sources of raw materials with a small "carbon footprint". A promising direction in the production of alternative diesel fuels from renewable biomass is considered to be bio-oil fuel (BOF), the components of which are natural vegetable oil and commercial petroleum diesel fuel (PDF) in a certain ratio. In modern conditions of the transition of motor vehicles diesel engines operations from traditional types of motor fuels to alternative fuels, it becomes necessary to conduct experimental studies to assess the effect of BOF on the wear of plunger pairs of high-pressure fuel pumps (injection pumps) HPFP, as the main unit of diesel fuel equipment. The obtained results of accelerated wear tests of plunger pairs of a four-section injection pump on a non-motorized stand with simultaneous operation of two of its sections on PDF and two others on rapeseed BOF, indicate that when the injection pump(HPFP) is running on BOF, wear indicators are lower compared to operation on commercial PDF.

Keywords: high-pressure fuel pump, plunger pairs, accelerated testing, petroleum diesel fuel, mixed bio-oil fuel, wear indicators

For citation: Ukhanov, A. P., Volodko, O. S. & Rotanov, E. G. (2024). Comparative accelerated wear testing of fuel injectors plunger pairs in operation with oil and bio-oil fuels. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 2, 28-33 (in Russ.). doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-28-33

В последние десятилетия динамика цен на нефтяное дизельное топливо (НДТ) очень неустойчива и направлена в сторону их повышения. Так, по данным Санкт-Петербургской товарно-сырьевой биржи в период с 2014 по 2019 годы стоимость НДТ всех марок существенно выросла в цене: летнего НДТ – с 30643 руб./т до 46203 руб./т, зимнего НДТ – с 33299 руб./т до 50026 руб./т. Данные цифры подкрепляют общемировую тенденцию, направленную на поиск новых и эффективное применение известных альтернативных моторных топлив из возобновляемых источников энергии. Это позволяет достичь определенного государственного суверенитета в сфере энергетической безопасности, снизить зависимость от рынка нефти и продуктов её переработки, существенно улучшить экологическую безопасность окружающей среды путем уменьшения выбросов парниковых газов [1, 2].

Собственное производство альтернативных моторных топлив и природных компонентов для добавки в НДТ позволяет дополнительно получить к вышеуказанным глобальным преимуществам и региональные социально-экономические преимущества: диверсификацию энергетики, ввод новых промышленных объектов, создание новых рабочих мест, увеличение налогооблагаемой базы, введение в оборот новых и заброшенных сельскохозяйственных земельных угодий, уменьшение оттока сельского населения в город [3,4].

Перспективным направлением в производстве альтернативных дизельных топлив из возобновляемой биомассы считается биотопливо (растительные масла, эфиры растительных масел, биодит, биодизель, биокеросин и др.). В натуральном виде биотопливо из растительных масел (рапсового, рыжикового, редечного, сафлорового, соевого, сурепного, горчичного, крамбового и др.) практически не применяется в автотракторных дизелях по причине существенных отличий физико-химических и эксплуатационных свойств от аналогичных свойств товарного НДТ. Поэтому в абсолютном большинстве случаев растительные масла после переэтерификации (эфиры растительных масел) или в натуральном очищенном виде используют в качестве биологического компонента (желательно обладающего также свойствами биодобавки) дизельного смесового бионефтяного топлива (БНТ), получая при их смешивании с НДТ соответственно биодизель или биодит. Следует отметить, что БНТ в дизеле эффективно выполняет две функции: моторного топлива и смазочного материала. Такое двухкомпонентное топливо, попадая в зазор прецизионных пар топливной аппаратуры, образует на поверхности сопрягаемых деталей демпферную пленку на основе поверхностно-активных веществ, содержащихся в растительном масле, снижает трение между сопрягаемыми деталями и обеспечивает высокоэффективную смазку сопряжений «плунжер-втулка» топливных насосов высокого давления (ТНВД) и «запорная игла-корпус распылителя» форсунок [5-8].

В современных условиях перехода работы дизелей автотракторной техники с традиционных видов моторного топлива на альтернативные топлива возникает необходимость проведения экспериментальных исследований по оценке влияния БНТ на износ плунжерных пар ТНВД, как наиболее важного сопряжения в дизельной топливной аппаратуре.

Цель исследований – выполнить экспериментальную оценку износных показателей плунжерных пар рядного четырехсекционного ТНВД по результатам безмоторных сравнительных ускоренных испытаний при одновременной работе двух насосных секций на НДТ и двух других – на БНТ, растительным компонентом которого является натуральное рапсовое масло (РМ).

Задачи исследований – создать идентичные условия проведения безмоторных испытаний плунжерных пар четырехсекционного ТНВД при одновременной работе на двух видах моторного топлива и определить износные показатели плунжерных пар ТНВД при работе на рапсовом БНТ в сравнении с товарным НДТ.

Материал и методы исследований. Ускоренные испытания плунжерных пар марки У16с15 (УТНМ 1111410-01) ТНВД модели 4УТНМ проводились на безмоторном стенде КИ-2222А при работе на БНТ с процентным соотношением нефтяного и растительного компонентов 50:50 и 75:25 и летнего НДТ марки ДТ-Л-К5 с добавлением в них абразива с удельной поверхностью 10500 см²/г и размером частиц 3-6 мкм в количестве 0,15 мг на 1 кг топлива. Плунжерные пары подбирались из одной партии по одинаковой гидравлической плотности с использованием прибора КИ-975. Перед началом испытаний ТНВД был отрегулирован на номинальную цикловую подачу топлива 72-73 мм³/цикл при частоте вращения кулачкового вала насоса 1100 мин⁻¹, а также он был модернизирован таким образом, что две его насосные секции работали на НДТ, две другие – на БНТ [9-12]. Испытания ТНВД проводились в течение 50 ч при жёстко закреплённой рейке управления топливоподачей на режиме номинальной цикловой подачи топлива.

При проведении испытаний оценивались следующие износные показатели плунжерных пар ТНВД: средний массовый износ (г) плунжерной пары в сборе, плунжера и втулки; зазор (мкм) в сопряжении плунжер-втулка; время (с) падения давления топлива при измерении гидроплотности плунжерных пар до и после испытаний.

Массовый износ определяли весовым способом используя весы WA-31 с точностью взвешивания 0,0001 г по среднему значению двух деталей (пар), и косвенно, по гидроплотности плунжерных пар, определяемой по времени падения давления топлива (по времени падения рукоятки на приборе КИ-975). Зазор в сопряжении плунжер-втулка измеряли микрометром МК-25 и нутромером 6-10 с точностью 0,0001 мм.

Результаты исследований. Результаты выполненных испытаний четырехсекционного ТНВД на износ плунжерных пар, при одновременной работе двух насосных секций на НДТ и двух других – на БН, показаны на рисунке 1 и приведены в таблице 1.

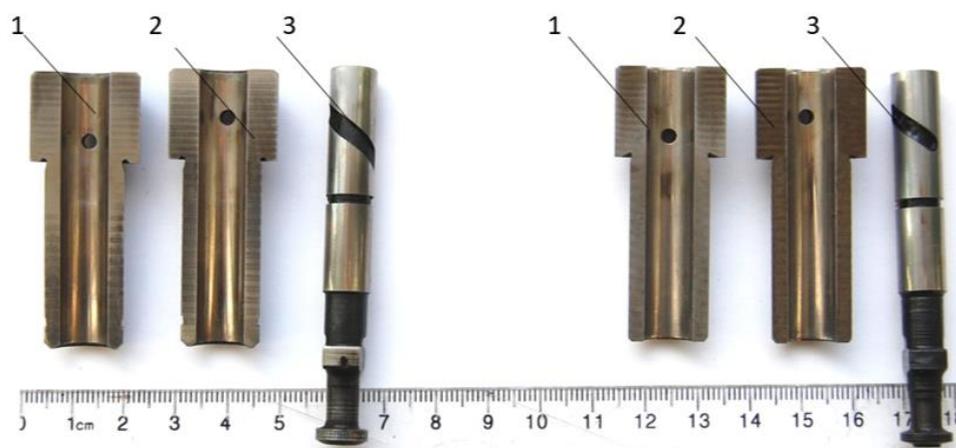


Рис.1. Детали плунжерных пар после испытаний:

1 – разрез втулки с отсечным отверстием; 2 – разрез втулки с впускным отверстием; 3 – плунжер

Таблица 1

Износные показатели плунжерных пар ТНВД при работе на нефтяном и бионефтяном топливах

Показатель	Численное значение показателя		
	нефтяное ДТ	75% ДТ:25%РМ	50%ДТ:50%РМ
Средний массовый износ (г): плунжерной пары в сборе плунжера втулки	0,0381	0,0167	0,0135
	0,0204	0,0089	0,0071
	0,0177	0,0078	0,0064
Зазор в сопряжении плунжер-втулка (мкм): до испытаний после испытаний	1 4	1 3	1 2
Время падения давления топлива при измерении гидроплотности плунжерных пар (с): до испытаний после испытаний	26,6 5	26,3 13,5	27 19

Визуальный осмотр под микроскопом поверхностей плунжеров и осевых разрезов втулок (рис. 1) показал, что плунжеры в наибольшей степени изношены в зоне напротив впускного отверстия. Поверхность этого участка износа представляет форму эллипса с длиной по большой оси 9,5 мм и шириной по малой оси 4,5 мм, причем поверхность имеет матовый оттенок, а от верхнего торца плунжера идут продольные бороздки. Втулки плунжерных пар подвержены наибольшему износу в зоне впускного отверстия с шириной изношенной поверхности 4,5 мм и имеют продольные бороздки на участке от верхнего торца втулки с постепенным увеличением глубины бороздок в сторону верхнего торца. У плунжерных пар, работавших на НДТ, изношенные участки поверхностей имеют более выраженный характер, чем у плунжерных пар, работавших на БНТ.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что наибольший износ плунжерных пар в сборе по потере массы зафиксирован у пар, работавших на НДТ, что косвенно подтверждается временем падения давления топлива при измерении гидроплотности плунжерных пар до и после испытаний.

Заключение. При работе ТНВД на всех исследованных составах рапсового БНТ показатели износа плунжерных пар ниже аналогичных показателей по сравнению с работой на товарном НДТ. Лучшим составом, обеспечивающим наименьший износ плунжерных пар ТНВД, является БНТ с содержанием в нём 50% рапсового масла.

Список источников

1. Сафина Д. Н., Хуснутдинов И. Ш., Сафиулина А. Г., Заббаров Р. Р., Шангаряева А. З. Перспективы производства моторных топлив из биомассы // Вестник технологического университета. 2021. Т.24, № 9. С.19-41.
2. Гайворонский А. И., Гордин М. В., Марков В. А. Проблемы и перспективы использования безуглеродных и низкоуглеродных моторных топлив в условиях различных сценариев перехода к углеродно-нейтральной энергетике // Двигателестроение. 2022. № 2(288). С.4-28.
3. Зленко М. А., Теренченко А. С. ДВС – конец эпохи? // Транспорт на альтернативном топливе. 2022. № 6(90). С.38-47.
4. Азаров В. К., Зозулин Е. М., Кутенёв В. Ф. Экологический ущерб от двигателей автомобилей в зависимости от вида потребляемого топлива // Транспорт на альтернативном топливе. 2022. № 6(90). С.48-55.
5. Чернышева А. В., Черепанова А. Д., Колобков Б. И. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив // Наука в центральной России. 2022. № 5(59). С.120-133.

6. Быченин А. П., Володько О. С., Ерзамаев М. П., Сазонов Д. С. Влияние олеиновой кислоты на трибологические свойства топлив для автотракторных дизелей // Известия Самарской государственной академии. 2017. № 4. С. 44-50.

7. Марков В. А., Лобода С.С., Инь М. Использование смесей нефтяного дизельного топлива и рыжикового масла в качестве моторного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. 2017. №5 (59). С. 29-40.

8. Нагорнов С. А., Романцова С. Е., Марков В. А. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив для сельскохозяйственных машин // Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 90-92.

9. Уханов Д. А., Уханов А. П., Ротанов Е. Г., Аверьянов А. С. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением смесового рапсово-минерального топлива : монография. Пенза : РИО ПГАУ, 2017. – 212 с.

10. Уханов Д. А., Уханов А. П., Ротанов Е. Г., Аверьянов А. С. Влияние дизельного смесового топлива на износ плунжерных пар ТНВД // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 3. С.105-108.

11. Уханов А. П., Уханов А. П., Ротанов Е. Г. Снижение износа плунжерных пар ТНВД в результате применения рационального состава дизельного смесового топлива // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 2 (18). С.46-51.

12. Пат. № 2453724 Российская Федерация. Топливный насос высокого давления для сравнительных испытаний плунжерных пар на двух видах моторного топлива / Уханов Д. А., Уханов А. П., Ротанов Е. Г., Аверьянов А. С. ; заявл. 08.12.2010; опубл. 20.06.2012.

References

1. Safina, D. N., Khusnutdinov, I. Sh., Safiulina, A. G., Zabbarov, R. R. & Shangaryayeva, A. Z. (2021). Prospects for the production of motor fuels from biomass. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta (Bulletin of the Technological University)*, 24, 9. 19-41 (in Russ).

2. Gaivoronsky, A. I., Gordin, M. V. & Markov, V. A. (2022). Problems and prospects of using carbon-free and low-carbon motor fuels in conditions of various scenarios of transition to carbon-neutral energy. *Dvigatelsestroenie (Engine-building)*, 2(288), 4-28 (in Russ).

3. Zlenko, M. A. & Terenchenko, A. S. (2022). ICE – the end of an era? *Transport na alternativnom toplive (Alternative fuel vehicles)*, 6(90), 38-47 (in Russ).

4. Azarov, V. K., Zozulin, E. M. & Kootenev, V. F. (2022). Environmental damage from car engines depending on the type of fuel consumed. *Transport na alternativnom toplive (Alternative fuel vehicles)*, 6(90), 48-55 (in Russ).

5. Chernysheva, A. V., Cherepanova, A. D. & Kolobkov, B. I. (2022). Physico-chemical and operational properties of biodiesel and mixed fuels. *Nauka v centralnoj Rossii (Science in central Russia)*, 5(59), 120-133 (in Russ).

6. Bychenin, A. P., Volodko, O. S., Erzamaev, M. P. & Sazonov, D. S. (2017). Influence of oleic acid on tribological properties of fuels for automotive diesel engines. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*, 4, 44-50 (in Russ).

7. Markov, V. A., Loboda, S. S. & Yin, M. (2017). The use of mixtures of petroleum diesel fuel and ginger oil as motor fuel. *Transport na alternativnom toplive (Alternative fuel vehicles)*, 5 (59), 29-40 (in Russ).

8. Nagornov, S. A., Romantsova, S. E. & Markov, V. A. (2020). Improving the performance properties of diesel fuels for agricultural machinery. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal (Agrarian Scientific Journal)*, 12, 90-92 (in Russ).

9. Ukhonov, D. A., Ukhonov, A. P., Rotanov, E. G. & Averyanov, A. S. (2017). Reduction of wear of plunger pairs of injection pumps using mixed rapeseed-mineral fuel. Penza : RIO PGAU (in Russ).

10. Ukhonov, D. A., Ukhonov, A. P., Rotanov, E. G. & Averyanov, A. S. (2011). The effect of diesel mixed fuel on the wear of plunger fuel pump pairs. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*, 3, 105-108 (in Russ).

11. Ukhonov, A. P., Ukhonov, A. P. & Rotanov, E. G. (2015). Reduction of wear of injection pump plunger pairs as a result of the use of a rational composition of diesel mixed fuel. *Tekhnologiya kolesnyh i gusenichnyh mashin (Technology of wheeled and tracked vehicles)*, 2 (18), 46-51 (in Russ).

12. Ukhonov, D. A., Ukhonov, A. P., Rotanov, E. G., Averyanov, A. S. High-pressure fuel pump for comparative testing of plunger pairs on two types of motor fuel. *Patent 2453724 Russian Federation* (in Russ).

Информация об авторах:

А. П. Уханов – доктор технических наук, профессор;
О. С. Володько – кандидат технических наук, доцент;
Е. Г. Ротанов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors:

A. P. Ukhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor;
O. S. Volodko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
E. G. Rotanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024; одобрена после рецензирования 1.04.2024; принята к публикации 16.04.2024.
The article was submitted 11.03.2024; approved after reviewing 1.04.2024; accepted for publication 16.04.2024.