Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.372: 621.436.1

Эксплуатационные исследования стабильности и равномерности параметров топливоподачи

Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Дзуганов В.Б., Батыров В.И., Болотоков А.Л., Губжоков Х.Л.

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова

Аннотация

В статье приведены результаты эксплуатационных исследований стабильности и равномерности параметров топливоподачи, с использованием системы эталонирования дизельной топливной аппаратуры, сформулированы меры по снижению удельного расхода топлива двигателями, поступающими в эксплуатацию после ремонта и технического обслуживания.

Ключевые слова: ДИЗЕЛЬ, ТОПЛИВО, ТОПЛИВНАЯ АППАРАТУРА, РАСХОД, РЕМОНТ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ЭТАЛОНИРОВАНИЕ

Введение

Дизельная топливная аппаратура должна обеспечивать дозирование цикловой подачи топлива с высокой точностью. От этого зависит мощность дизеля и его топливная экономичность (удельный расход топлива в граммах на одну лошадиную силу в час или один киловатт в час). Одной из основных причин повышенного удельного расхода топлива тракторными и комбайновыми дизелями, поступающими в эксплуатацию после ремонта, является недостаточная точность дозирования подаваемого в камеру сгорания топлива, а также большая неравномерность величины цикловой подачи топлива между отдельными цилиндрами двигателя, достигающая 20% [1-4].

Эталонирование дизельной топливной аппаратуры (ТА) дает возможность значительно повысить точность настройки топливных насосов при ремонте и техническом обслуживании (ТО), подобрать по пропускной способности рабочие форсунки и

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

топливопроводы для совместной работы на дизеле и тем самым существенно снизить удельный расход топлива двигателями, поступающими в эксплуатацию после ремонта и ТО [5-8].

Система эталонирования (система контрольных образцов) решает следующие задачи метрологического обеспечения ремонта дизельной топливной аппаратуры: подбор и проверка стендовых форсунок и топливопроводов высокого давления для испытания и регулировки топливных насосов на безмоторных стендах; проверка, настройка и аттестация безмоторных (регулировочных) стендов; проверка пропускной способности рабочих форсунок и топливопроводов высокого давления, сортировка их на группы. По величине этого параметра осуществляется подбор дизельной ТА в комплекты для совместной работы.

Цель исследования – исследование влияния состояния элементов топливной системы высокого давления (ТСВД) на величину параметров топливоподачи.

Материалы, методы и объекты исследования

Для эксплуатационных сравнительных исследований были подготовлены комплекты ТА УТН-5 дизеля 4Ч11/12,5, ТСВД которых комплектовалась с использованием системы эталонирования и по действующей технологии. После этого комплекты регулировались согласно техническим условиям на безмоторном стенде. Одновременно с замером цикловой подачи топлива проводилось осцилографирование основных параметров топливоподачи: давления начала впрыскивания, подъема иглы распылителя, давления в топливопроводе. Графики распределения давления и продолжительности впрыскивания топлива определены на номинальном режиме при замере цикловой подачи.

Результаты исследования

Результаты исследования распределения цикловой подачи, давления и продолжительности впрыскивания при комплектовании ТСВД с использованием эталонирования и по действующей технологии ТА УТН-5 представлены на рис. 1-3. Анализ полученных зависимостей показывает, что отклонения цикловой подачи

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

исследуемой ТА при комплектовании с использованием системы эталонирования составляют 72…77 мм^3/цикл, то есть 5 мм^3/цикл или 1,38%, тогда как при комплектовании по пропускной способности отклонения цикловых подач составляют 64…81 мм^3/цикл, то есть 17 мм^3/цикл, или 26,5%. При этом следует отметить, что при номинальной цикловой подаче топлива, равной 75 мм^3/цикл для исследуемой ТА, и с учетом допустимой техническими условиями на регулировку неравномерности подачи топлива 3,0%, для комплектации ТА могут быть включены ТСВД, имеющие цикловую подачу 74...76 мм^3/цикл. Указанному условию удовлетворяют 24,5% ТСВД, комплектация которых производилась с использованием системы эталонирования и 11% ТСВД, комплектация которых произведена по действующей технологии.

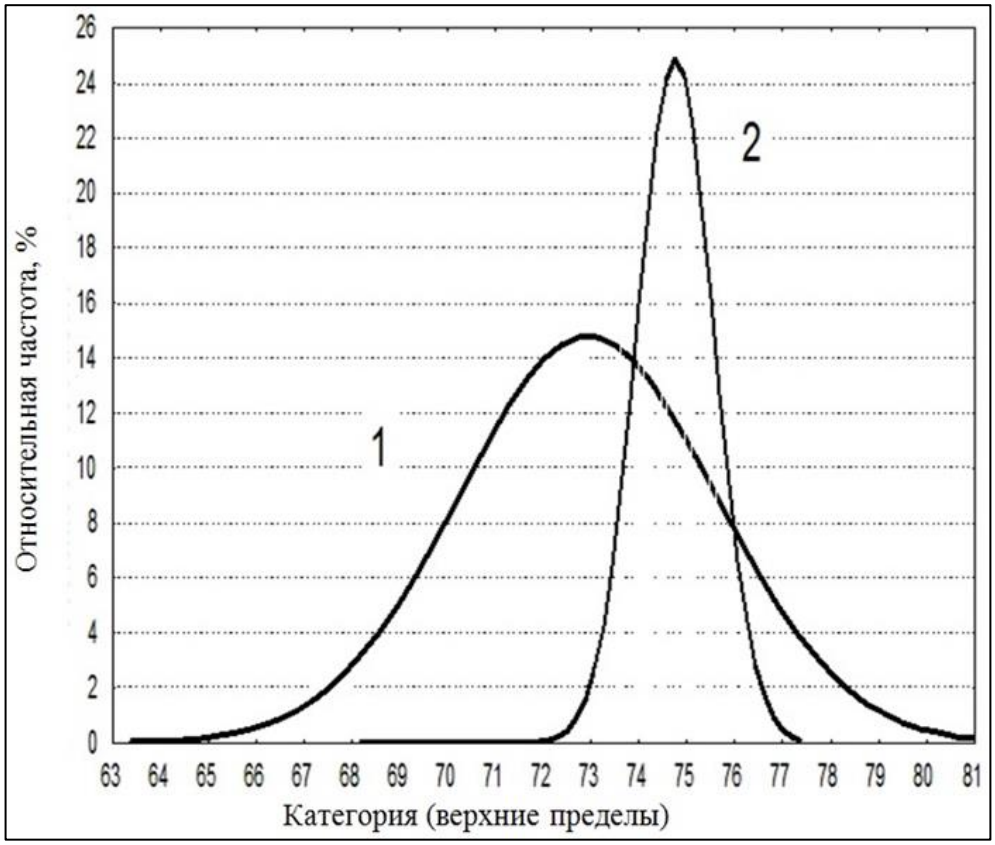

Рис. 1. Графики распределения цикловой подачи топлива при комплектовании по действующей технологии (1) и с применением системы эталонирования (2)

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

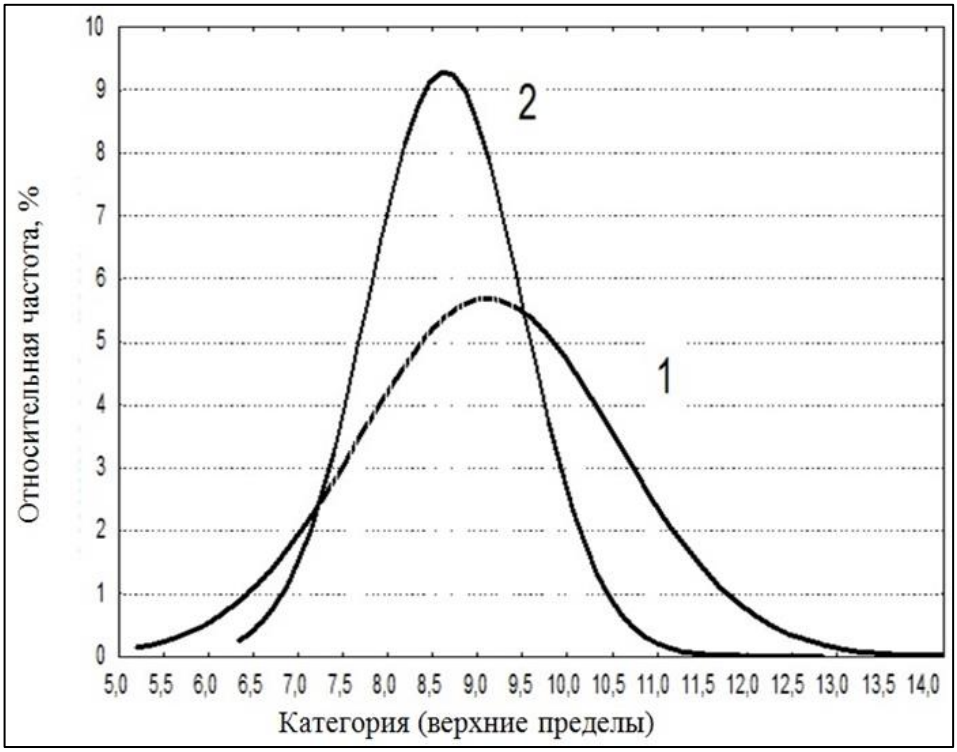

Рис. 2. Графики распределения продолжительности впрыскивания топлива при комплектовании по действующей технологии (1) и с применением системы эталонирования (2)

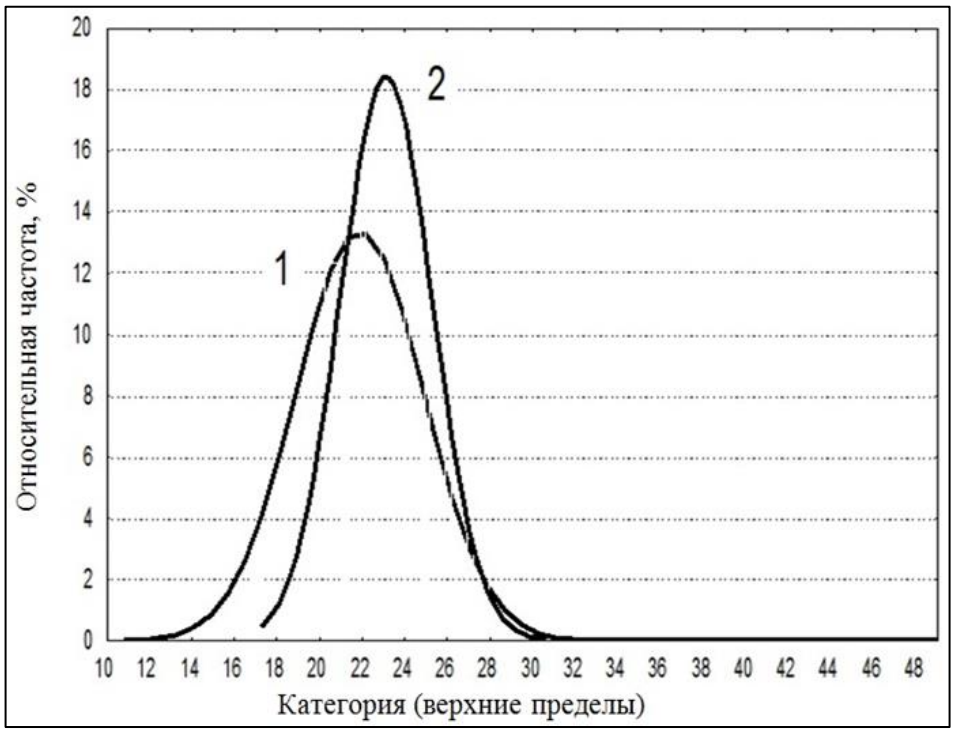

Рис. 3. Графики распределения давления впрыскивания топлива при комплектовании по действующей технологии (1) и с применением системы эталонирования (2)

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Графики распределения давления и продолжительности впрыскивания топлива получены в результате осциллографирования процесса топливоподачи на номинальном режиме при замере цикловой подачи. Из их анализа следует, что по давлению и продолжительности впрыскивания топлива оптимальное значение имеют, соответственно, 19,5 и 9,5% ТСВД, комплектация которых произведена с использованием системы эталонирования и, соответственно, 9,5 и 5,5% ТСВД, комплектация которых произведена по действующей технологии.

Таким образом, при внедрении системы эталонирования дизельной топливной аппаратуры на ремонтно-обслуживающих предприятиях количество ТСВД, отвечающих техническим условиями, больше в 2 раза, чем их комплектование по действующей технологии.

Следовательно, применение системы эталонирования, наряду с обеспечением идентичности гидравлических характеристик элементов ТСВД и качества настройки ТА, повышает в 2 раза производительность труда на операциях отбора и комплектования ТСВД при выполнении ремонтно-обслуживающих работ.

Графики изменения неравномерности цикловой подачи, построенные по данным таблицы 1, показаны на рис. 4.

Таблица 1. Неравномерность цикловой подачи топлива, %

Номера комплектов	По действующей технологии			С системой эталонирования		
	наработка, ч					
	1000	2000	3000	1000	2000	3000
1	5,0	10,0	14,0	2,2	3,4	5,5
2	4,0	6,6	10,4	1,5	4,4	5,0
3	4,0	6,6	10,4	2,1	4,0	7,2
4	5,0	6,6	11,8	2,2	4,4	6,2
5	5,0	7,9	13,0	2,2	3,4	6,2

Из их анализа следует, что при настройке с использованием системы эталонирования неравномерность цикловой подачи топлива увеличилась на первом контрольном этапе с 1,5 до 2,2%, то есть на 0,7%, тогда как при настройке по действующей технологии с 4,0 до 5,0%, то есть на 1%. Таким образом, видно увеличение неравномерности подачи топлива примерно в 1,4 раза.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

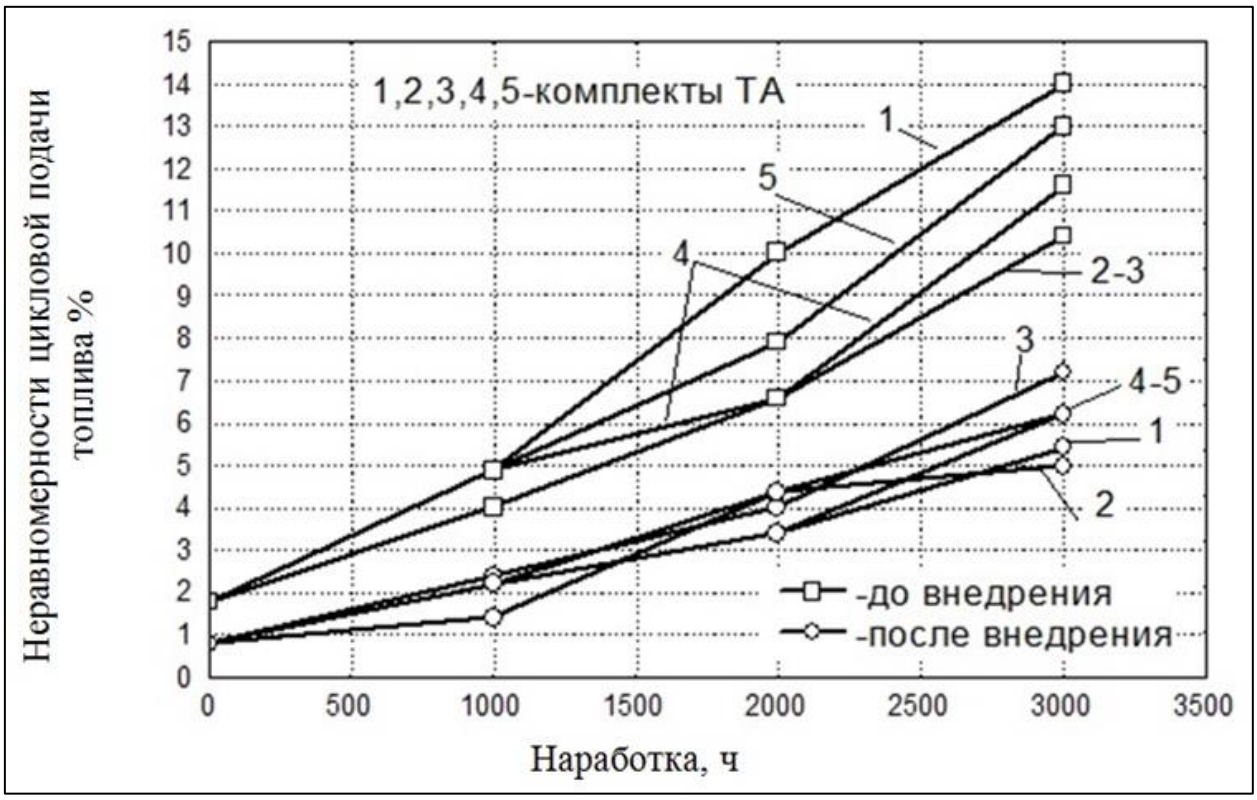

Рис. 4. Зависимость неравномерности цикловой подачи топлива ТА УТН-5 дизеля 4Ч11/12,5 от наработки до и после внедрения системы эталонирования

На втором и третьем этапах при настройке ТА с использованием эталонирования неравномерность подачи топлива находилась в пределах, соответственно, 3,4…4,4% и 5,0…7,2%, то есть наблюдалось увеличение от 1,6 до 2,8%, а при настройке ТА по действующей технологии неравномерность на указанных этапах была равна, соответственно, 6,6…10,0% и 10,4…14,0%, то есть наблюдалось увеличение от 3,4 до 3,6%. Таким образом, увеличение неравномерности подачи при настройке по действующей технологии практически вдвое превышает увеличение неравномерности при настройке ТА с применением эталонирования.

В таблицах 2 и 3 приведены значения цикловой подачи топлива ($g_ц$, мм^3/цикл) продолжительности ($\varphi_п$, град.) и давление впрыскивания топлива ($P_в$, МПа), угла запаздывания впрыскивания топлива ($\varphi_з$, град.) по комплектам ТА и контрольным этапам.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Таблица 2. Параметры топливоподачи комплектов ТА на контрольных этапах (по действующей технологии)

Номера комплектов	Номера секции	Параметры топливоподачи											
		контрольные этапы											
		1				2				3			
		$g_ц$	$\varphi_п$	$P_в$	$\varphi_з$	$g_ц$	$\varphi_п$	$P_в$	$\varphi_з$	$g_ц$	$\varphi_п$	$P_в$	$\varphi_з$
1	1	72,0	11,3	22,8	10,8	70,0	10,9	23,4	12,7	69,0	11,2	22,4	11,3
	2	73,0	9,1	23,9	10,9	71,0	9,1	23,9	10,9	74,0	10,3	23,2	13,9
	3	72,0	11,3	22,8	10,8	70,0	10,9	23,4	10,3	62,0	11,2	22,4	11,3
	4	72,0	11,5	21,7	10,8	67,0	10,9	21,9	11,7	64,5	10,9	21,0	12,7
2	1	71,0	11,5	21,7	11,8	69,5	10,9	22,8	10,7	66,5	11,9	22,8	12,5
	2	72,0	11,3	22,8	10,8	70,0	10,9	23,4	12,3	69,0	11,2	22,4	11,3
	3	73,5	9,7	23,4	10,9	62,0	11,9	22,0	12,7	68,0	11,9	22,6	12,7
	4	73,5	8,9	23,4	10,9	72,5	10,3	23,2	10,9	73,0	9,9	21,6	10,1
3	1	71,0	11,5	21,7	11,8	69,5	10,9	22,8	10,7	66,5	11,9	22,8	12,5
	2	72,0	11,3	22,8	10,8	70,0	10,9	23,4	12,3	69,0	11,2	22,4	11,3
	3	73,5	9,7	23,4	10,9	62,0	11,9	22,0	12,7	68,0	11,9	22,6	12,7
	4	73,5	8,9	23,4	10,9	72,5	10,3	23,2	10,9	73,0	9,9	21,6	10,1
4	1	72,5	9,6	19,5	11,1	71,5	10,6	20,1	11,8	70,0	10,9	24,5	9,8
	2	74,0	9,0	21,6	10,8	73,0	9,9	21,6	10,1	74,0	9,0	21,6	10,8
	3	71,0	10,4	18,0	11,8	60,5	10,9	22,8	10,9	66,0	12,0	24,0	12,5
	4	72,5	9,6	19,5	11,1	70	10,9	23,8	10,2	69,0	11,2	22,2	11,3
5	1	72,5	9,6	19,5	11,1	70	10,9	23,4	10,3	69,0	11,2	22,2	11,3
	2	73,0	9,1	19,9	10,8	74,6	9,3	22,0	9,9	74,0	9,3	22,1	9,9
	3	74,0	9,0	21,6	10,8	72,5	10,3	23,2	10,9	73,0	11,3	22,8	10,8
	4	71,0	10,4	18,0	11,8	68,5	11,3	22,0	12,7	65,5	11,9	22,0	12,0

Из анализа приведенных данных следует, что значения продолжительности и угла запаздывания впрыскивания топлива изменяются в меньшей степени, чем цикловая подача и давление впрыскивания топлива. Величина цикловой подачи и значения остальных исследуемых параметров находятся в сложной зависимости. Если увеличение цикловой подачи произошло вследствие превалирующего износа нагнетательного клапана по разгрузочному пояску, то давление впрыскивания увеличивается, а продолжительность $\varphi_п$ уменьшается. Если увеличение цикловой подачи топлива произошло из-за превалирующего износа сопловых отверстий и увеличения эффективного проходного сечения распылителя, то давление впрыскивания при этом снижается, а продолжительность впрыскивания увеличивается.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Таблица 3. Параметры топливоподачи комплектов ТА на контрольных этапах (с системой эталонирования)

Номера комплектов	Номера секции	Параметры топливоподачи											
		контрольные этапы											
		1				2				3			
		$g_ц$	$\varphi_п$	$P_в$	$\varphi_з$	$g_ц$	$\varphi_п$	$P_в$	$\varphi_з$	$g_ц$	$\varphi_п$	$P_в$	$\varphi_з$
1	1	74,0	10,2	24,6	9,0	72,0	9,3	24,5	9,8	72,0	10,3	24,5	19,8
	2	72,5	9,2	24,5	9,8	71,5	10,6	20,1	11,8	70	10,9	23,4	12,7
	3	72,0	19,3	24,5	9,8	69,5	11,0	23,0	10,5	68,0	11,9	22,0	12,7
	4	73,0	10,4	24,4	9,9	72,0	9,3	24,5	9,8	71,5	10,5	20,1	11,8
2	1	74,0	9,1	24,9	9,8	73,0	9,1	24,9	9,8	72,5	9,2	24,5	9,8
	2	74,0	9,0	24,7	9,8	72,0	9,3	24,5	9,9	79,0	10,9	23,2	9,8
	3	72,0	9,3	24,5	9,9	70,0	10,9	23,4	12,3	68,5	11,3	22,0	12,1
	4	73,5	9,2	24,5	9,8	71,5	10,6	20,1	11,8	70,0	10,9	23,4	12,3
3	1	74,5	9,5	24,8	9,9	73,5	9,9	23,4	10,9	73,0	9,1	25,0	9,8
	2	72,5	8,9	23,4	9,8	71,0	10,4	18,0	11,8	68,0	10,9	29,4	12,7
	3	72,5	8,9	23,5	9,8	71,5	10,6	20,1	11,8	70,0	10,9	23,4	10,3
	4	74,5	9,5	24,8	9,9	74,0	9,1	23,9	10,9	73,5	9,9	23,4	10,9
4	1	74,0	9,5	22,9	9,7	72,5	8,9	23,4	9,8	72,0	9,3	24,5	9,8
	2	74,0	9,5	22,9	9,7	72,0	9,3	24,5	9,8	71,0	10,4	24,4	9,8
	3	74,0	9,5	23,1	9,7	72,0	9,3	24,5	9,8	70,0	10,9	23,4	10,3
	4	73,0	9,8	23,1	9,8	69,0	11,2	22,4	11,3	67,0	9,9	20,2	11,9
5	1	74,0	9,2	24,6	9,8	73,0	10,9	23,4	12,3	69,0	11,2	22,2	11,3
	2	73,0	9,1	25,0	9,8	72,5	9,2	24,6	9,8	72,0	9,3	24,5	9,8
	3	72,0	10,3	24,7	9,9	70,5	11,1	22,4	11,3	67,0	9,9	22,4	11,3
	4	73,0	9,2	24,6	9,8	72,0	10,3	24,7	9,9	70,0	10,9	23,4	12,3

На рис. 5 представлены изменения коэффициента стабильности подачи топлива $\lambda_{ст}$ исследуемых комплектов ТА УТН-5 дизеля 4Ч11/12,5 в зависимости от наработки $T_н$. Из графиков следует, что коэффициент стабильности топливоподачи при использовании системы эталонирования уменьшается в меньшей степени от 0,986...0,978 до 0,950...0,930, тогда как при настройке по пропускной способности от 0,970...0,964 до 0,930...0,924, то есть снижение коэффициента стабильности в первом случае составил в среднем 0,03, а во втором случае 0,04. Повышение коэффициента стабильности составляет по исследуемым комплектам в среднем от 1,5 до 3,1%.

На рис. 6 представлены графики изменения усредненных значений коэффициентов стабильности топливоподачи исследуемых комплектов ТА при настройке ТА с использованием системы эталонирования и по действующей технологии, которые подтверждают результаты приведенного выше анализа.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

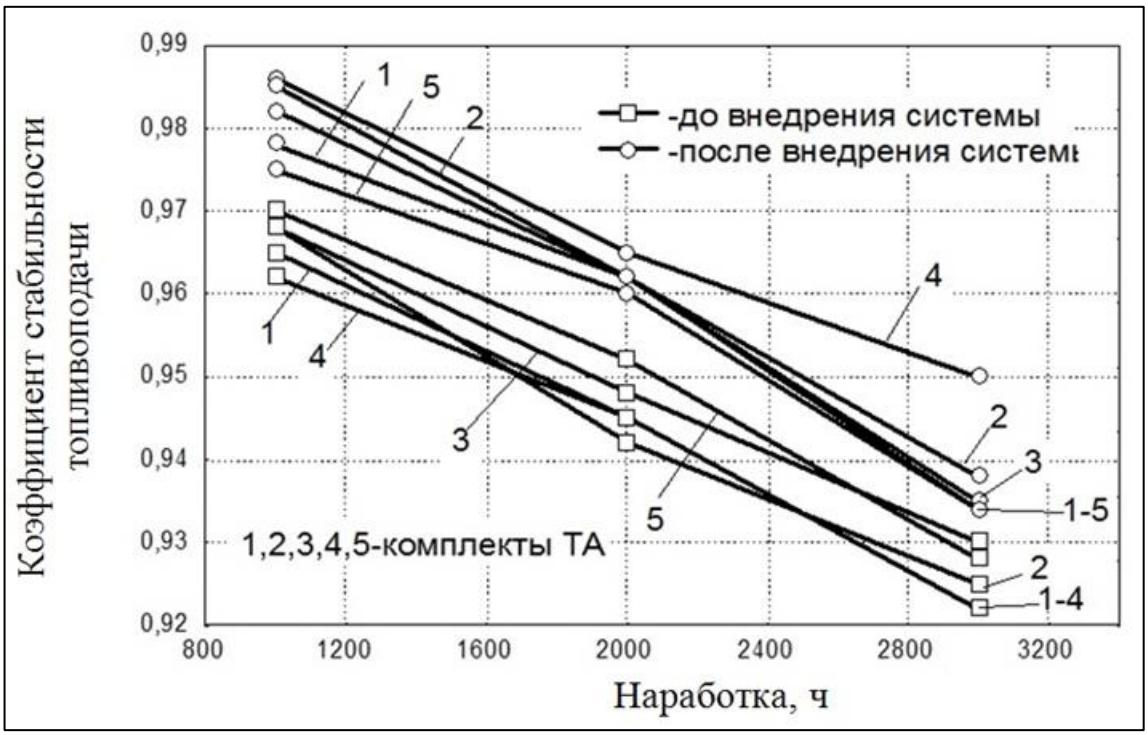

Рис. 5. Зависимость коэффициента стабильности топливоподачи ТА УТН-5 дизеля 4Ч11/12,5 от наработки до и после внедрения системы эталонирования

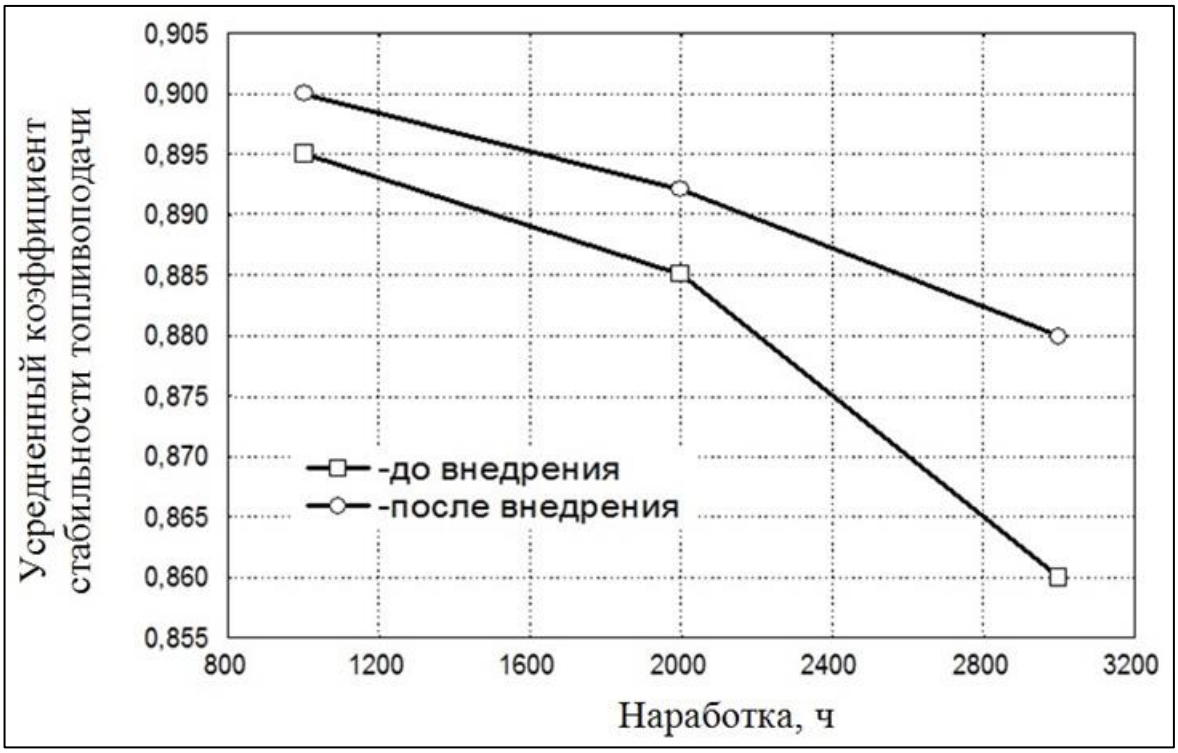

Рис. 6. Зависимость усредненного коэффициента стабильности топливоподачи ТА УТН-5 дизеля 4Ч11/12,5 от наработки до и после внедрения системы эталонирования

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Выводы

1. Техническое состояние элементов ТСВД оказывает существенное влияние на величину параметров топливоподачи. Вследствие различных технологических допусков на изготовление и неравномерности их износа в эксплуатации может иметь место неидентичность параметров топливоподачи.

2. Метрологическое обеспечение и режим настройки топливного насоса на контрольно-регулировочных стендах вносят значительную погрешность в измерение параметров топливоподачи. Наибольшая погрешность вносится стендовыми топливопроводами и распылителями форсунок, с которыми регулируют топливный насос на стенде, а также параметры дизельного топлива (до 16 %). Изменение температурного режима работы топливного насоса от 20 до 60°С прецизионными элементами, в исследуемом диапазоне их технического состояния, приводит к снижению цикловой подачи и увеличению неидентичности.

3. Увеличение неравномерности подачи при настройке по действующей технологии практически вдвое превышает увеличение неравномерности при настройке ТА с применением системы эталонирования.

4. Если увеличение цикловой подачи произошло вследствие превалирующего износа нагнетательного клапана по разгрузочному пояску, то давление впрыскивания увеличивается, а продолжительность впрыскивания уменьшается. Если увеличение цикловой подачи топлива произошло из-за превалирующего износа сопловых отверстий и увеличения эффективного проходного сечения распылителя, то давление впрыскивания при этом снижается, а продолжительность впрыскивания увеличивается.

5. Повышение коэффициента стабильности топливоподачи при настройке с применением системы эталонирования в сравнении с настройкой по действующей технологии составляет в среднем от 1,5 до 3,1%.

Список использованных источников:

1. Apazhev A., Shekikhachev Y., Batyrov V., Shekikhacheva L., Bolotokov A. Investigation of coking diesel injector spray nozzles in operation // E3S Web of Conferences, 2021, 262, 01020. DOI: 10.1051 /e3sconf/202126201020. URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85107153595&origin=resultslist.

2. Болотоков А.Л., Губжоков Х.Л. Влияние параметров топливоподающей

аппаратуры на характеристику впрыскивания топлива // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 1(27). С. 85–88.

3. Болотоков А.Л., Губжоков Х.Л. Анализ влияния выходных параметров на производительность топливоподкачивающего насоса // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2021. № 3(33). С. 94–99.

4. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Batyrov V.I., Shekikhacheva L.Z. Influence of non-uniformity of fuel supply parameters on diesel engine performance // Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1679(4), 042063. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/4/042063. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1679/4/042063/pdf.

5. Шекихачев Ю.А., Батыров В.И. Характерные неисправности топливоподкачивающих насосов в процессе эксплуатации // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2021. № 2(32). С. 102–107.

6. Батыров В.И., Шекихачев Ю.А. Критерии оценки качества функционирования топливной аппаратуры // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 3(29). С. 99–103.

7. Губжоков Х.Л., Болотоков А.Л. Влияние изменения низкого давления в полости питания топливного насоса высокого давления на параметры топливоподачи // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 1(27). С. 89–92.

8. Батыров В.И., Шекихачев Ю.А. Особенности протекания рабочего процесса дизеля в условиях высокогорья Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 2(28). С. 117–121.

==========

Цитирование:

Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Дзуганов В.Б., Батыров В.И., Болотоков А.Л., Губжоков Х.Л. Эксплуатационные исследования стабильности и равномерности параметров топливоподачи [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_504.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202125504.