УДК 621.43.031

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-48-4-118-123

Р.М. Баширов, Ф.Р. Сафин, Р.Р. Юльбердин

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Ключевые слова: *дизель; аппаратура топливная; подача цикловая; неравномерность топливоподачи; пропуск впрысков.*

Введение. Мощностные и экономические показатели работы тракторных и комбайновых (далее тракторных) дизелей в решающей степени определяются техническим состоянием их топливной аппаратуры (ТА) [1, 2, 8]. В процессе эксплуатации изнашиваются основные детали и ухудшается техническое состояние ТА. Это обуславливает необходимость диагностирования и регулирования ТА. В настоящее время регулирование ТА проводится с демонтажем её с дизеля в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 18509-88 при работе на номинальной частоте вращения по трем показателям – давлению начала впрыска топлива, опережению впрыска и цикловой подачи. Демонтаж ТА, транспортировка её и обратный монтаж требуют существенных затрат времени, особенно ощутимых в периоды напряженных (например, посевных, уборочных) полевых работ. В связи с этим на практике мониторинг технического состояния

ТА не всегда проводят и во многих случаях дизеля при снижении их мощности и повышении расхода топлива направляют на ремонт [10]. В то же время, как показывает практика, для восстановления их технико-экономических показателей зачастую оказывается достаточным лишь регулировка ТА. Поэтому практический интерес представляет изыскание методики регулирования ТА в полевых условиях без её демонтажа с дизеля [9]. Проблема эта относительно просто может решаться при находящей все более широкое применение в дизелях ТА аккумуляторного типа с электронным управлением процесса впрыска топлива [3]. Однако такая аппаратура сложна по конструкции и отличается дороговизной. Поэтому пока ещё широко применяется и сравнительно простая (дешевая), и достаточно надежная аппаратура непосредственного действия с механическими (центробежными) и электронными регуляторами (в Республике Башкортостан).

стан, например, более 70 % тракторов оборудованы такой аппаратурой). Если учесть, что в простой аппаратуре заинтересованы в первую очередь фермеры, то вполне логично предположить, что она ещё долго будет находиться в производстве и эксплуатации. На такой аппаратуре и производились исследования, результаты которых приведены ниже. Вполне очевидно, они могут применяться и для ТА аккумуляторного типа.

Объект и методика исследований. Исследования проводились на четырехтактном четырехцилиндровом тракторном дизеле Д-65Н (4Ч11/13) с порядком работы цилиндров 1-3-4-2, применяемом в тракторах ЮМЗ. Дизель водяного охлаждения. Номинальная эффективная мощность его 45,6 кВт (при частоте вращения 1750 мин^{-1}). Оборудован он топливным насосом высокого давления (ТНВД) марки 4УТНИ с регулятором центробежного типа. Геометрическое начало подачи ТНВД – 57 градусов поворота коленчатого вала (град. п. к. в.). Форсунки дизеля (ФД-22) снабжены многодырчатыми распылителями 11.1112110А. Дизель этот был выбран с учетом того, что у его ТНВД в установленном в двигатель положении имеется доступ к элементам регулирования цикловой подачи и опережения впрыска. Испытания проводились по общепринятой методике [3, 4].

Результаты исследований. Само собой разумеется, что регулирование ТА в полевых условиях целесообразно только у дизелей без явных признаков необходимости капитального ремонта (давление масла не ниже рекомендуемого, запуск удовлетворительный, компрессия в цилиндрах в установленных пределах и т. д.). В полевых условиях давление и опережение впрыска могут регулироваться так же, как и в лабораторных условиях, а для регулирования цикловой подачи вместо испытательного стенда может применяться сам дизель. При этом возникает проблема прокручивания кулачкового вала ТНВД на холостом ходу дизеля (при номинальной подаче топлива) с частотой вращения, соответствующей номинальной частоте вращения коленчатого вала. Она может решаться переводом дизеля на работу с пропуском впрысков топлива [5, 6].

Для экспериментальных исследований возможности такого полевого регулирования ТА принятого дизеля предварительно была отрегулирована в соответствии с рекомендацией завода-изготовителя в лабораторных условиях на безмоторном стенде КИ-22210 при частоте вращения кулачкового вала ТНВД 870 мин^{-1} (таблица 1). Эта частота вращения отличалась от номинальной на 5 мин^{-1} в связи с тем, что регулируемый шаг частоты вращения на стенде кратен 10.

Таблица 1 Зависимость параметров топливоподачи ТА дизеля Д-65Н от частоты вращения кулачкового вала

Частота вращения кулачкового вала $n_k, \text{мин}^{-1}$	Цикловая подача $g_{ци}$ по цилиндрам, мм^3				Средняя цикловая подача, $g_{ци, ср}, \text{мм}^3$	Межсекционная неравномерность $\delta, \%$
	I	II	III	IV		
870	73	73	73	73	73	0,00
800	76	75	75	76	75,5	1,32
700	81	79	78	79	79,25	3,77
620	85	82	80	83	82,5	6,06

Как видно из таблицы 1, с уменьшением частоты вращения кулачкового вала средняя цикловая подача и неравномерность подачи возрастали так, что к режиму максимального крутящего момента (620 мин^{-1}) увеличились соответственно на $5,5 \text{ мм}^3$ и $6,06 \%$. После такой регулировки ТА на обкаточно-тормозном стенде КИ-1363 ГОСНИТИ была снята регуляторная характеристика дизеля (рисунок 1). Как видно из характеристики, при работе на номинальном режиме двигателя средняя цикловая подача оказалась ниже и составила $62 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ (снизилась на 15 % из-за появления противодействия впрыску). К режиму максимального крутящего момента она возросла на 13 % (из-за действия корректора). Затем у дизеля были отключены три цилиндра из четырех (1, 4 и 2), т. е. 75 % впрысков.

Рисунок 1
Регуляторная характеристика дизеля Д-65Н:
 N_e – мощность; M_k – крутящий момент; g_e – удельный расход топлива; n_d – частота вращения коленчатого вала; $g_{ци}$ – цикловая подача

При работе на полной подаче топлива на одном третьем цилиндре на холостом ходу дизель развивал частоту вращения 1500 мин^{-1} . Из этого следует, что не отключенный цилиндр работал на корректорной ветви ТА (рисунок 1). Поддачи секций отключенных цилиндров, определенные впрыском, в измерительные емкости составили 76, 78 и 79 $\text{мм}^3/\text{цикл}$. Разброс по величинам цикловых подач этих секций явился результатом неидентичности гидравлических характеристик прецизионных элементов ТА.

Для повышения частоты вращения коленчатого вала в работу был включен дополнительно второй цилиндр. При этом частота вращения возросла до 1850 мин^{-1} , т. е. оказалась выше номинальной. Это результат того, что мощность, развиваемая двумя цилиндрами, превышала мощность механических потерь дизеля на его номинальной частоте вращения. Цикловые подачи двух отключенных цилиндров составили 70 и 71 $\text{мм}^3/\text{цикл}$, т. е. оказались ниже номинальной. Из этого следует, что дизель работал на регуляторной ветви характеристики (рисунок 1). Для обеспечения работы дизеля на номинальной частоте вращения при холостом ходу было решено пропускать часть впрысков во второй цилиндр.

Для осуществления этого было разработано устройство, позволяющее пропускать часть впрысков топлива (рисунок 2). Основу его составил серийно выпускаемый электрогидроуправляемый клапан фирмы DENSO, применяемый в японских дизелях 2L-TE и 1KZ-TE для регулирования величины цикловой подачи топлива [6]. Корпус 1 устройства соединялся со штуцером ТНВД дизеля (через топливопровод) и гнезда 3 для перепускного клапана 4.

Устройство работает следующим образом. Топливо, нагнетаемое ТНВД, при открытом клапане 4 сливается в топливный бак (впрыск пропускается). Если клапан закрыт, то оно поступает к форсунке и впрыскивается в цилиндр дизеля. Перепускной клапан 4 управляется разработанным электронным блоком, схема которого приведена на рисунке 3. Для отображения показателей топливоподачи блок снабжен двухстрочным ЖК-дисплеем WH1602A с встроенным контролером и светодиодной подсветкой. На дисплее отображаются частота вращения вала ТНВД в мин^{-1} , количество пропущенных впрысков, максимальное и минимальное давления в топливопроводе в мВ . Перевод из мВ в МПа производится тарировочным коэффициентом. Частота вращения дизеля определяется по показаниям датчика давления в топливопроводе. Блок работает от бортовой электрической сети трактора.

Общая схема регулировки ТА, разработанная с использованием предложенного устройства пропуска впрысков, представлена на рисунке 4.

Рисунок 2

Схема устройства пропуска впрысков топлива:

1 – корпус; 2 – сливной штуцер; 3 – гнездо для перепускного клапана; 4 – клапан DENSO; 5 – секция насоса УТНН

Для регулирования ТА на дизеле её секции были разделены на две группы, с тем чтобы обеспечить равномерное чередование рабочих ходов поршней (при работе с порядком 1-3-4-2 в одну группу включались секции I и IV цилиндров, а в другую – III и II). Затем форсунки были отрегулированы на ручном стенде на давление начала впрыска 17,5 МПа и на дизеле на опережение впрыска (по началу подачи ТНВД). Ранее отрегулированные цикловые подачи, указанные в таблице 1, были «сбиты» и ТА была собрана по схеме рисунка 4. Отверстия в головке цилиндра от снятых форсунок были заглушены. Снятые форсунки впрыскивали топлива в измерительные емкости.

Работы по регулированию цикловой подачи на дизеле проводились в два этапа. Первый (соответствует схеме рисунка 4): секция ТНВД третьего цилиндра работала без пропуска впрысков (с полной подачей) в цилиндр дизеля; секция второго цилиндра работала с пропуском подач; регулировались секции ТНВД первого и четвертого цилиндров на номинальную цикловую подачу $g_{ци}$ (при частоте вращения коленчатого вала 1750 мин^{-1}). Второй: группы секций ТНВД менялись местами и все операции повторялись.

Результаты регулировки приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, номинальные частоты вращения дизеля на холостом ходу были достигнуты при работе одного цилиндра без пропуска впрысков (т. е. с 875 впрысками) и другого – с пропуском 700 впрысков. При этом погрешность регулировки составила 1,23 %. Получается, что на дизеле ТА может регулироваться с такой же точностью, что и с демонтажем его с двигателя на специальных регулировочных стендах.

Вполне очевидно, что общее количество впрысков на номинальном режиме работы дизеля ($875 \cdot 4 = 3500$) пропорционально его индикаторной мощности N_i , число реализованных

$(875 + 175 = 1050)$ – мощности механических потерь N_m , а число пропущенных $(3500 - 875 - 175 = 2450)$ – эффективной мощности N_e . С учетом этого обстоятельства можно найти и механический КПД двигателя η_m с отрегулированной на нем ТА.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_m}{N_i} = \frac{3500 - 1050}{3500} = 0,7.$$

Анализ этой величины позволяет оценить общее техническое состояние и ресурс дальнейшей эксплуатации двигателя.

Рисунок 3

Блок управления пропуском впрысков топлива

Рисунок 4

Схема регулирования ТА на дизеле:

1 – топливный бак; 2 – ТНВД; 3 – дизель; 4 и 10 – топливопроводы высокого давления; 5 – измерительные емкости; 6 – форсунки; 7 – датчики давления серии МД; 8 и 9 – устройство пропуска впрысков с клапаном DENSO и его электронный блок управления; 11 – сливной трубопровод; 12 – крышка люка для регулировки ТНВД; I, II, III, IV – номера цилиндров

Таблица 2 Показатели работы ТА после её регулировки на дизеле и механический КПД дизеля

Этап регулировки	Номер цилиндра с секцией ТНВД		Число впрысков в работающий цилиндр	Показатели работы ТА после регулировки на дизеле		Механический КПД дизеля
	работающего	регулируемого		геометрическое начало подачи ТНВД, град. п. к. в.	цикловая подача, мм ³	
Первый	III	I	875	57	72,6	0,7
	II	IV	175	147	73,5	
Второй	I	III	875	237	73,1	0,7
	IV	II	175	327	72,1	

Выводы. Регулировать топливную аппаратуру в «полевых» условиях можно используя в качестве регулировочного стенда сам двигатель. Необходимую для этого номинальную частоту вращения двигателя на холостом ходу можно обеспечить, переводя его на регулирование нагрузки пропуском впрысков топлива. Преимущество предложенного «полевого» метода регулирования: по полученным при нем данным можно опре-

делить и механический КПД двигателя, характеризующий его общее техническое состояние, и ресурс его дальнейшей работы. В «полевых» условиях может регулироваться лишь топливная аппаратура, у которой в установленном в двигатель положении имеется доступ к регулировочным элементам. Регулировать в «полевых» условиях целесообразно топливную аппаратуру только у дизелей без явных признаков необходимости ремонта.

Библиографический список

1. Габитов, И.И. Улучшение эксплуатационных показателей топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования [Текст]: дисс. на соискание уч. степени докт. техн. наук / И.И. Габитов. Санкт-Петербург, 2001. 320 с.
2. Астахов, И.В. Подача и распыливание топлива в дизелях [Текст] / И.В. Астахов, В.И. Трусков, А.С. Хачиян. М.: Машиностроение, 1971. 359 с.
3. ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. М.: Изд-во стандартов, 1988. 46 с.
4. ГОСТ 8670-82 Насосы топливные высокого давления автотракторных дизелей. Правила приемки и методы испытаний [Текст]. М.: Изд-во стандартов, 1982. 5 с.
5. Гайсин, Э.М. Повышение топливной экономичности тракторных дизелей регулированием режимов их работы пропуском подачи топлива [Текст]: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Э.М. Гайсин. Санкт-Петербург-Пушкин, 2007. 127 с.
6. Баширов, Р.М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета [Текст] / Р.М. Баширов. М.: Лань, 2017. 335 с.
7. Миннигалиев, А.М. Совершенствование средств и методов определения механических потерь энергии диагностируемых автотракторных дизелей [Текст]: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / А.М. Миннигалиев. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. 125 с.
8. Габитов, И.И. Современные тенденции технического сервиса топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей [Текст] / И.И. Габитов, А.В. Неговора // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 101. С. 38–44.
9. Габитов, И.И. Устройство с электронным управлением для парового обогрева масляного картера двигателя внутреннего сгорания, коробки передач, мостов автомобиля [Текст] / И.И. Габитов, А.В. Неговора, М.М. Разяпов и др. // Патент на изобретение RUS 2478824 15.04.2011.
10. Габитов, И.И. Повышение эффективности ремонта электрогидравлических форсунок аккумуляторных топливных систем автотракторных и комбайновых дизельных двигателей [Текст] / И.И. Габитов, А.Р. Валиев // Техника и оборудование для села. 2013. № 1. С. 38–41.

Сведения об авторах

1. **Баширов Радик Минниханович**, доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и машинно-тракторных комплексов, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (3472) 285200, e-mail: bashirov@mail.ru.

2. **Сафин Филлюс Раисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и машинно-тракторных комплексов, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (3472) 525793, e-mail: fils02@mail.ru.

3. **Юльбердин Руслан Раянович**, аспирант кафедры теплоэнергетики и физики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: +7 (3472) 285200, e-mail: yulberdinruslan@mail.ru.

Предложен способ диагностирования и регулирования топливной аппаратуры дизелей в «полевых» условиях. Отличительная особенность – возможность регулирования топливной аппаратуры без демонтажа её с двигателя. Необходимая для этого номинальная частота вращения двигателя на холостом ходу обеспечивается

переводом его на регулирование нагрузки пропуском впрысков топлива. Использование предлагаемого способа позволяет определять дополнительно механический КПД двигателя, характеризующий его общее техническое состояние, и оценивать ресурс его дальнейшей работы.

R. Bashirov, F. Safin, R. Yulberdin

METHOD OF DIAGNOSING AND REGULATING THE FUEL EQUIPMENT OF TRACTOR DIESEL ENGINES IN THE FIELD

Key words: *diesel; fuel equipment; fuel delivery; irregular fuel delivery; fuel unevenness; injection skips.*

Authors' personal details

1. **Bashirov Radik**, Doctor of technical sciences, professor of the Cars and machine-and-tractor aggregates department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34, phone: +7 (347) 2285200, e-mail: bashirov@mail.ru.

2. **Safin Filyus**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Cars and machine-and-tractor aggregates department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34, phone: +7 (347) 2525793, e-mail: fils02@mail.ru.

3. **Yulberdin Ruslan**, Post-graduate student of the chair of thermal energy and physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34, phone: +7 (347) 2285200, e-mail: yulberdinruslan@mail.ru.

The paper describes a method to diagnose and regulate a diesel fuel equipment in the field. A distinctive feature is the possibility of regulating the fuel equipment without its dismantling from the engine. The required nominal engine speed at idle speed is provided by transferring it to load regula-

tion by skipping the fuel injections. The use of the proposed method makes it possible to determine additionally the mechanical efficiency of the engine, characterizing its overall technical condition, and to estimate the resource of its further operation.

© Баширов Р.М., Сафин Ф.Р., Юльбердин Р.Р.