

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЦИКЛОВОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА ПРИ НАСТРОЙКЕ ТНВД МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Д.С. Шестаков, к.т.н., нач. отдела; ООО «Уральский дизель-моторный завод»
Н.С. Кочев, асп., «Уральский федеральный университет»*

Представлены результаты испытаний топливных насосов высокого давления российского и зарубежного производства на безмоторном стенде. Приведены результаты расчетов цикловой подачи топлива на режимах тепловозной характеристики. Выполнен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений цикловой подачи топлива и неравномерности подачи от частоты вращения вала ТНВД. Установлены основные причины несоответствия настроек ТНВД на заводе-изготовителе и на стенде потребителя.

Возросшие требования к повышению экономичности и снижению выбросов вредных веществ поршневых ДВС приводят к необходимости точной регулировки топливной аппаратуры дизелей. Одним из направлений решения этой проблемы является переход к топливной аппаратуре с электромагнитным управлением типа common rail [1]. Эта тенденция наметилась в конце 1990-х гг. и в настоящее время получила широкое распространение.

В настоящее время в производстве и эксплуатации преобладают дизельные двигатели с традиционной топливной аппаратурой механического типа, которую необходимо настраивать для получения удовлетворительных результатов по экономическим и экологическим показателям.

Кроме того, существуют тяжелые условия эксплуатации дизелей: сильная запыленность воздуха, низкое качество горюче-смазочных материалов, резкие колебания высоты, низкие температуры, в которых необходимо обеспечить их бесперебойную работу без квалифицированного обслуживания. В таких условиях обычно работают дизели дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники, а также дизели специального (военного) назначения [2].

Все эти факторы указывают на оправданность использования традиционных механических ТНВД даже, в отдельных случаях, несмотря на ухудшение топливной экономичности и эко-

логических показателей в сравнении с аккумуляторными топливными системами.

Настройка топливной аппаратуры — трудоемкий процесс, требующий применения испытательного оборудования, оснащенного специальными приспособлениями и измерительными устройствами. Оборудование стенда должно обеспечивать регулировку ТНВД с высокой степенью точности.

В условиях развития специализированного производства ТНВД изготавливают и регулируют на заводах топливной аппаратуры, после чего изделие отправляют заказчику.

На предприятии-изготовителе дизеля ТНВД проходит входной контроль, при котором осуществляется проверка углов начала подачи топлива по секциям, проверка неравномерности подачи топлива на холостом ходу и на номинальной частоте вращения. Кроме того, проверяется соответствие выхода рейки в положение «стоп», при котором прекращается подача топлива.

Проверку выполняют на стенде для испытаний и регулировки ТНВД, который должен иметь привод, систему подачи топлива или жидкости, имитирующей топливо, систему смазки, систему подогрева/охлаждения технических жидкостей.

При испытаниях могут возникать трудности, причиной которых служит применение в составе стенда элементов с различающимися техническими характеристиками. К таким элементам относятся топливопроводы высокого давления и форсунки с распылителями. Большое влияние также оказывают технические параметры жидкости, если таковая используется вместо дизельного топлива.

Определенные коррективы вносят такие параметры окружающей среды, как температура и давление. При отсутствии подогревателей и охладителей масла и топлива температура рабочих жидкостей может изменяться в широких пределах и оказывать влияние на объемные показатели подачи топлива.

На ООО «Уральский дизель-моторный завод» выполняется входной контроль и повторная регулировка топливных насосов высокого давления

6, 8, 12ТН14 производства ОАО «Волгодизель-аппарат» (г. Маркс); ТН6, ТН8, ТН12.ДМ21.161 производства ООО «СпецМашТехноСервис» (г. Мурманск) и насосов серии PV производства АО «Motorpal» (Чехия).

Для определения необходимой величины подачи топлива в цилиндр дизеля 8ЧН21/21 мощностью 930 кВт был произведен расчет цикловой подачи топлива на восьми режимах [3] тепловозной характеристики [4].

Цикловая подача топлива одной секции ТНВД на холостом ходу вычисляется по формуле

$$V_{\text{впр}} = \frac{G \cdot 10^6}{\gamma \cdot i \cdot 60 \cdot n}, \quad (1)$$

где $V_{\text{впр}}$ — цикловая подача, мм³/ход; G — часовой расход топлива, кг/ч (на холостом ходу $G = 12,2$ кг/ч); γ — плотность топлива, г/см³; i — количество цилиндров; n — количество оборотов ТНВД, об/мин.

Цикловая подача топлива одной секции ТНВД на рабочих режимах вычисляется по формуле

$$V_{\text{впр}} = \frac{P \cdot g_e \cdot 10^3 \cdot 1,05}{\gamma \cdot i \cdot 60 \cdot n}, \quad (2)$$

где P — мощность двигателя, кВт; g_e — удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч.

Неравномерность подачи топлива по секциям следует рассчитывать по формуле

$$\delta = \frac{2(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})}{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где V_{max} — подача топлива секцией с максимальной производительностью, см³ (мл); V_{min} — подача топлива секцией с минимальной производительностью, см³ (мл).

Результаты расчета цикловой подачи топлива тепловозного дизеля 8ЧН21/21 с ТНВД АО «Motorpal» на холостом ходу и на рабочих режимах представлены в таблице. Там же приведены результаты испытаний ТНВД АО «Motorpal» на безмоторном стенде на восьми позициях тепловозной характеристики [4], выход рейки на этих позициях и показатели цикловой подачи, заявленные производителем насоса. По результатам расчетов и испытаний построены графики, приведенные на рис. 1. При построении графика неравномерности подачи топлива данные, полученные экспериментально, относятся к секции № 5. В таблице также представлены данные цикловой подачи из протокола наладки ТНВД на АО «Motorpal».

Как видно из таблицы, неравномерность подачи топлива, полученная на испытательном стенде ООО УДМЗ, значительно отличается от значений, указанных АО «Motorpal», что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 10578–95. По

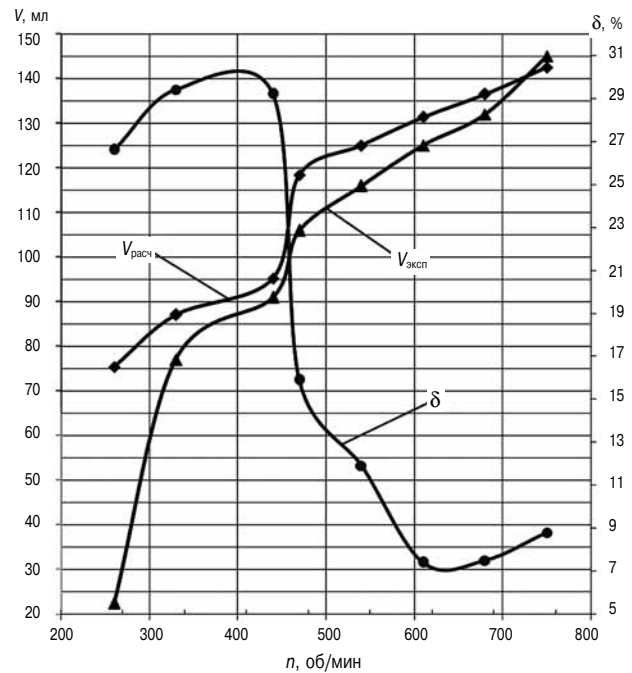


Рис. 1. Изменение расчетной и экспериментальной цикловой подачи топлива и неравномерность подачи в зависимости от частоты вращения вала ТНВД на режимах тепловозной характеристики дизеля

требованию стандарта неравномерность подачи топлива 8-секционного ТНВД не должна превышать 6 % на номинальном режиме и 50 % на режиме холостого хода [5]. В ходе дополнительных регулировок неравномерность подачи на холостом ходу и на номинальном режиме удается снизить до значений 50 % и 6 % соответственно, при этом имеется необходимость определить причины выявленных несоответствий.

Из таблицы видно, что наибольшая неравномерность подачи топлива приходится на 1–3-ю позиции тепловозной характеристики [4]. При переходе на 4-ю позицию неравномерность подачи резко снижается и достигает минимума на 5–7-й позициях. По результатам опытно-доводочных испытаний наименьший удельный эффективный расход топлива наблюдается на 6-й и 7-й позициях. Таким образом, можно сделать вывод о наличии диапазона работы дизеля с наибольшей топливной экономичностью на 5–7-й позициях.

Существует несколько методов снижения неравномерности подачи топлива, при этом для ТНВД различных производителей эти методы могут отличаться и иметь свои особенности.

Так, например, у насосов АО «Motorpal», предназначенных для дизелей семейства ДМ-21, подача топлива секцией регулируется с помощью поворота фланца крепления плунжерной втулки к корпусу насоса или за счет регулировки выхода топливной рейки в пределах, установленных технической документацией на насос. Если

Позиция		Хол. ход	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность дизеля, кВт		40,5	155	233	341	465	576	704	819	930
Частота вращения коленвала дизеля $n_{дв}$, об/мин		520	520	660	880	940	1080	1220	1360	1500
Частота вращения вала ТНВД n насоса, об/мин		260	260	330	440	470	540	610	680	750
Количество ходов плунжера		200	200	200	200	200	200	200	200	200
Цикловая подача экспериментальная на стенде ООО УДМЗ $N_{эсп}$, см ³ (мл)	1 секция	25	25	75	90	107	114	124	129	144
	2 секция	24	24	66	83	103	114	120	130	149
	3 секция	27	27	82	102	115	124	126	138	154
	4 секция	23	23	61	82	98	110	117	130	148
	5 секция	22,5	22,5	77	91	106	116	125	132	145
	6 секция	26	26	65	76	102	112	120	130	148
	7 секция	28	28	68	81	106	114	122	136	146
	8 секция	30	30	70	88	100	110	120	128	141
Цикловая подача расчетная $N_{расч}$, см ³ (мл)		10,2	75,4	87,1	95,2	118,4	125	131,4	136,5	142,5
Неравномерность подачи, согласно испытаниям δ , %		26,6	26,6	29,4	29,2	15,9	11,9	7,4	7,5	8,8
Выход рейки от корпуса, мм		46	46	47	48	49	50	51	52	54
Температура топлива, °С		20	20	21	23	24	24	27	28	30
Цикловая подача, согласно протокола наладки Motorgal, см ³ (мл)	1 секция	19,6	—	—	—	—	—	—	—	144
	2 секция	20,4	—	—	—	—	—	—	—	142
	3 секция	20	—	—	—	—	—	—	—	146
	4 секция	19,8	—	—	—	—	—	—	—	140
	5 секция	20	—	—	—	—	—	—	—	146
	6 секция	20,4	—	—	—	—	—	—	—	142
	7 секция	19,6	—	—	—	—	—	—	—	146
	8 секция	20,6	—	—	—	—	—	—	—	144
Неравномерность подачи, согласно ПН Motorgal, %		4,9	—	—	—	—	—	—	—	2,8

представленные выше регулировки не устраняют неравномерность, производится замена секции в сборе.

Изменение подачи топлива секцией у насосов ОАО «Волгодизельаппарат» и ООО «Дело» производится с помощью поворота плунжера. Если данный способ не устраняет неравномерность подачи топлива, производится замена секции.

Для точной проверки и регулировки ТНВД на испытательном стенде были разработаны мероприятия, направленные на обеспечение одинаковых условий испытаний насосов на предприятии-изготовителе и на ООО УДМЗ.

1. Применены одинаковые по пропускной способности трубопроводы высокого давления производства ООО УДМЗ (рис. 2) на всех испытательных стендах поставщиков.

2. Применен один тип форсунок NC622Z-3261 с многоструйными распылителями KDO145T840-4517 производства «Motorgal», отрегулированных на давление подъема иглы ($26^{+1,0}$) МПа

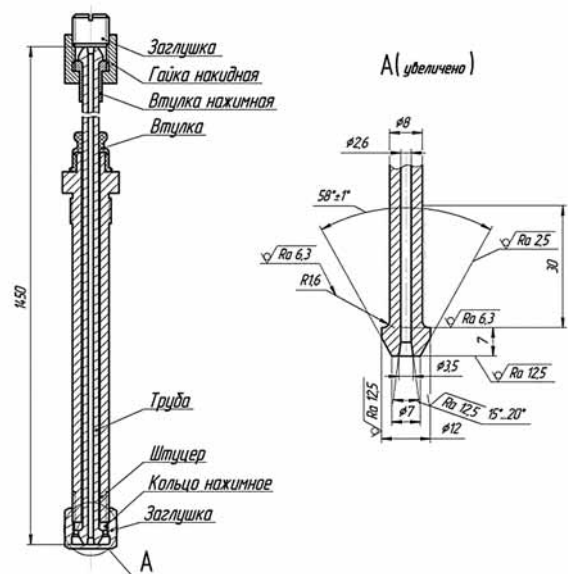


Рис. 2. Трубопровод высокого давления производства ООО УДМЗ

(260^{+10} кгс/см²) на всех испытательных стендах поставщиков.

3. Каждый производитель по заявке ООО УДМЗ изготовил эталонный ТНВД для периодической проверки безмоторного стенда.

4. Применена система регулирования температуры топлива и масла в заданных пределах на всех испытательных стендах.

Указанные мероприятия позволили снизить неравномерность подачи топлива на режиме холостого хода до 20 % при сохранении неравномерности цикловой подачи на номинальном режиме в пределах 5 %. В результате внедренных мероприятий удалось добиться одинаковых условий проведения испытаний на стендах всех поставщиков ТНВД.

Литература

1. Грехов Л.В. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail. — М. : МГТУ, 2000. — 64 с.

2. Работа дизелей в условиях эксплуатации: справочник / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочнев. — М. : Машиностроение, 1989. — 286 с.

3. Попов А.А. Топливная аппаратура дизелей транспортного типа. — М. : Речиздат, 1947. — 288 с.

4. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / под ред. засл. деят. науки РФ Б.А. Шароглазова. — Челябинск : ЮУрГУ, 2010. — 382 с.

5. ГОСТ 10578–95. Насосы топливные дизелей. Общие технические условия. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. — 22 с.

6. Дизели: справочник / под. общей ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л. : Машиностроение, 1977. — 480 с.

7. Грехов Л.В., Габитов И.И., Неговора А.В. Конструкция, расчет и технический сервис топливоподающих систем дизелей. — М. : Легион-Автодата, 2013. — 292 с.

8. ГОСТ 8519–93. Топливопроводы высокого давления дизелей и их соединения. Общие технические условия. — М. : ИПК Издательство стандартов, 1995. — 20 с.

9. ГОСТ 10579–88. Форсунки дизелей. Общие технические условия. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. — 9 с.

ЮБИЛЕЙ!



Григорию Вульфовичу Мельнику 75 лет!

15 августа 2015 г. исполнилось 75 лет

Григорию Вульфовичу Мельнику, кандидату технических наук, руководителю отделения научно-технической информации редакции журнала «Двигателестроение».

Г.В. Мельник, выпускник кафедры ДВС Ленинградского кораблестроительного института, в 1962 г. поступил на работу в отдел автоматизации Центрального научно-исследовательского дизельного института (ЦНИДИ), где проработал более 30 лет.

В 1970 г. Г.В. Мельник защитил кандидатскую диссертацию по направлению развития электронных регуляторов скорости.

В период с 1988 по 1992 г. он возглавлял лабораторию систем регулирования и управления. Профессиональную деятельность Г.В. Мельника характеризуют общая эрудиция, аналитические способности, скрупулезное внимание ко всем деталям предмета исследования и блестящее знание английского языка.

Последующие годы были посвящены сотрудничеству с зарубежными двигателестроительными компаниями, такими как «Woodward Governor Co.» (США), «Waukesha Engine» (США), Европейский институт экологической энергетики (Дания) и др.

С 2005 г. Г.В. Мельник активно сотрудничает с редакцией журнала «Двигателестроение» в качестве руководителя отделения научно-технической информации, и подготовленные им обзоры по самым актуальным проблемам развития двигателестроения стали постоянной рубрикой нашего журнала.

Трудовая деятельность Г.В. Мельника отмечена многими почетными званиями и наградами.

Редакция журнала «Двигателестроение» поздравляет Григория Вульфовича с юбилеем и желает ему здоровья, благополучия и творческого долголетия