

А.П. МАРЧЕНКО, д-р. техн. наук, *Д.В. МЕШКОВ*, мл. науч. сотр.
(г. Харьков)

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВНОГО АККУМУЛЯТОРА И ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ОПЫТНОЙ СИСТЕМЫ ТИПА COMMON RAIL БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

Рассмотрен процесс выбора и обоснования основных параметров двух наиболее важных конструктивных элементов опытной топливной аккумуляторной системы быстроходного дизеля с электронным управлением, создаваемой в настоящее время на кафедре «ДВС» НТУ «ХПИ»: топливного аккумулятора и топливного насоса высокого давления.

The work considers the process of selecting and substantiating two most important elements of the experimental storage system of an electronically-operated high-speed diesel engine, which is being created at the Internal Combustion Engines faculty of NTU "KhPI", these elements being the fuel accumulator and the high-pressure fuel pump.

Постановка проблемы. Создание отечественного образца аккумуляторной топливной системы с электронным управлением быстроходного дизеля является сложной и ответственной задачей. В настоящий момент учеными кафедры ДВС создана оригинальная конструкция топливной форсунки для данного типа систем. В основу разработки положен патент Украины [1]. Особенностью данной топливной форсунки является использование в качестве исполнительного элемента силового быстродействующего пьезоэлектрического клапана. Такое решение позволяет получить приемлемое значение перемещения исполнительного элемента при малых значениях тока и относительной простоте конструкции [2]. Дополнительным достоинством данного решения является простота переоснащения ими дизелей, в том числе находящихся в эксплуатации. Следовательно, проведение моторных испытаний на двигателе (СМД-23) требуется его оснащение всеми компонентами топливной системы, для чего необходимо провести выбор и обоснование конструктивных параметров таких элементов как топливный аккумулятор (АТ) и топливный насос высокого давления (ТНВД).

Анализ литературы показал, что существует несколько различных методик расчета указанных параметров. Так, в [2], дается подробное описание расчета применительно к дизелю-генератору. В [3] рассмотрен метод определения объема АТ и производительности ТНВД автомобильного дизеля. Так как разрабатываемая топливная аппаратура имеет значительные отличия в организации ее рабочего процесса, необходимо выполнить уточнение приведенных методик.

Целью статьи является описание методики расчета для определения объема АТ и производительности ТНВД применительно к разрабатываемой опытной топливной аппаратуре.

Определение емкости топливного аккумулятора. АТ в системе Common Rail (CR) выполняется в виде толстостенного трубопровода и монтируется в большинстве случаев на головке блока цилиндров в непосредственной близости от форсунок. На корпусе АТ выполняются штуцеры для крепления трубопроводов форсунок, штуцер крепления трубопровода высокого давления, крепление датчика давления топлива и клапан регулирования давления.

Выбор объема АТ производится исходя из противоречивых требований: с одной стороны объем должен быть достаточным для сглаживания колебаний давления топлива при срабатывании форсунок и работе ТНВД, с другой стороны объем должен быть минимальным для обеспечения переходных режимов работы дизеля. Объем АТ должен удовлетворять условиям обеспечения быстрого пуска двигателя.

Исходя из этого, объем АТ [3]:

$$V_{ак} = \frac{V_{\Sigma}}{\beta \cdot (P_{акк}^{min} - P_{акк}^{min})}; \quad (1)$$

где $V_{\Sigma} = k_1 \cdot V_T$ – общий расход топлива;

V_T – цикловая подача;

k_1 – коэффициент, учитывающий перегрузку дизеля, утечку топлива в топливной форсунке и управляющем клапане. Для разрабатываемой системы k_1 принят равным 1,1, так как отсутствует расход топлива на управление, который является доминирующим при использовании электрогидравлических топливных форсунок. Для традиционных систем с электрогидравлической топливной форсункой k_1 принимается в диапазоне 1,25...1,35.

β – коэффициент сжимаемости топлива. Для дизельного топлива $\beta = 35 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$.

$P_{акк}^{max}$ и $P_{акк}^{min}$ – максимальное и минимальное значение давления топлива на номинальном режиме работы дизеля, которые зависят от допускаемой нестабильности цикловой подачи. В данном случае, по рекомендациям, приведенным в [4] для автотракторного быстроходного дизеля, они составляют 1,5% от максимального давления в АТ = 100 МПа.

Выполненный расчет при $V_T = 130 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ показал, что необходимый объем АТ для опытной системы составляет:

$$V_{ак} = 0,135 \text{ дм}^3;$$

Определение необходимой производительности ТНВД выполняется по формуле 3 как сумма расходов топлива на номинальном режиме работы двигателя $\Delta Q_{форс}$ и приращение динамического резерва производительности обусловленное наличием переходных режимов дизеля $\Delta Q_{дин.рез}$. Для дизеля 4ЧН12/14 принято, что переходной режим происходит за время 0,5 с при изменении давления в аккумуляторе с 40 до 100 МПа.

$$Q_{дин.рез} = \Delta Q_{дин.рез} + Q_{форс}; \quad (3)$$

где $\Delta Q_{дин.рез}$ – дополнительный расход, для электрогидравлической топливной форсунки обусловленный утечками в распылителе, утечками в мультипликаторе запирания, утечками в электроуправляемом клапане и значительными утечками на управление. Значение коэффициента $k_{форс}^{ном}$ для электрогидравлических форсунок находится в пределах 1,06...1,35 [3]. Разрабатываемая топливная система характерна отсутствием расхода топлива на управление, следовательно, данный коэффициент принимается равным 1,1.

$$Q_{форс} = k_{форс}^{ном} \cdot Q_{теор}^{ном}. \quad (4)$$

Минутный объемный расход топлива для подачи в цилиндры на номинальном режиме работы дизеля:

$$Q_{теор}^{ном} = \frac{2 \cdot n_{ном} \cdot i_{цил} \cdot g_u^{ном}}{\rho_T \cdot \tau}; \quad (5)$$

где $n_{ном}$ – номинальная частота вращения коленчатого вала;

$i_{цил}$ – количество цилиндров двигателя;

$g_u^{ном}$ – удельный эффективный расход топлива на номинальном режиме;

ρ_T – плотность дизельного топлива;

τ – тактность двигателя.

Расчет динамического резерва производительности осуществляется с заданием времени переходного режима дизеля ($\Delta t_{п.п.} = 0,5$ с) и объема аккумулятора определенного по формуле 1.

$$\Delta Q_{дин.рез} = \frac{\beta_{ср} \cdot (P_2 - P_1) \cdot V_{ак}}{\Delta t_{п.п.}}. \quad (6)$$

Учитывая различия частот вращения на рассматриваемых режимах и выбранной частоты вращения вала ТНВД, производительность насоса за один оборот его вала определяется:

$$V_{ц}^{ТНВД} = \frac{Q_{\max}}{n_{ТНВД}}. \quad (7)$$

Результаты расчета параметров элементов опытной топливной аппаратуры для дизеля 4ЧН12/14 на номинальном режиме работы представлены в таблице 1. Следует отметить, что определение режима работы дизеля с наиболее жесткими требованиями к производительности ТНВД не всегда очевидно [3]. Поэтому расчет производительности ТНВД должен также выполняться для режима пуска и режима максимального крутящего момента.

Таблица 1

Параметры элементов топливной аппаратуры

Параметр	Значение
Объем топливного аккумулятора, дм^3	0,135
Расход топлива на номинальном режиме $Q_{\text{теор}}$, $\text{мм}^3/\text{мин}$	1035,3
Расход топлива с учетом утечек $Q_{\text{форс}}$, $\text{мм}^3/\text{мин}$	1138,82
Дополнительный расход $\Delta Q_{\text{дин.рез}}$, $\text{мм}^3/\text{мин}$	340,2
Динамический резерв производительности $Q_{\text{дин.рез}}$, $\text{мм}^3/\text{мин}$	1479,02
Производительность ТНВД, $V_{ц}^{ТНВД}$, $\text{мм}^3/\text{об.}$	1,47

Выводы. По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы: 1. Предложен новый вариант конструкции топливной системы типа Common Rail, в основу которой положен патент Украины [1] с быстродействующим пьезоэлектрическим исполнительным элементом; 2. По уточненным методикам выполнен расчет основных элементов разрабатываемой топливной аппаратуры для автотракторного дизеля 4ЧН12/14.

Список литературы: 1. Пат. 9799 У Украины, F02M51/06, F02M47/00. Паливний інжектор / Коваль В.С., Лаврінченко В.В., Марченко А.П., Мешков Д.В., Хорунжий В.М. – № u200503134; Заявл. 05.04.2005; Опубл. 17.10.2005 Бюл. № 10/2005. 2. Марченко А.П., Прохоренко А.А., Мешков Д.В. Выбор рациональных конструктивных параметров опытной топливной форсунки типа Common Rail быстроходного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – №1. 3. Пинский Ф.И., Дутиков В.К. Выбор емкости аккумулятора и производительности топливного насоса электрогидравлической системы топливоподачи дизель-генераторов // Двигателестроение. – 1983. – №9. – С.31–33. 4. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Вагнер В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

Поступила в редколлегию 20.05.07