

УДК 621.436.038

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСТАДИЙНОЙ ТОПЛИВОПОДАЧИ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ФОРСУНКИ

А.Н. Врублевский, доцент, к.т.н., В.С. Чумак, студент,
И.А. Перевозник, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Предложено для улучшения характеристик двухстадийной топливоподачи электрогидравлической форсунки установить перед впускным жиклером камеры управления дополнительный объем. В результате расчетного исследования определены геометрические размеры данного объема, обеспечивающие повышение давления впрыскивания основной порции топлива на 18 %.

Ключевые слова: аккумуляторная топливная аппаратура, электрогидравлическая форсунка, топливоподача, давление впрыскивания, дополнительный объем.

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОСТАДІЙНОЇ ПАЛИВОПОДАЧІ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ ФОРСУНКИ

О.М. Врублевський, доцент, к.т.н., В.С. Чумак, студент,
І.А. Перевозник, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Запропоновано для покращення характеристик двостадійної паливоподачі електрогидравлічної форсунки встановити перед впускним жиклером камери керування додатковий об'єм. В результаті розрахункового дослідження визначено геометричні розміри даного об'єму, які забезпечують підвищення тиску впорскування основної порції палива на 18%.

Ключові слова: акумуляторна паливна апаратура, електрогидравлічна форсунка, паливоподача, тиск упорскування, мультиплікатор, камера керування.

IMPROVEMENT OF TWO-STAGE FUEL-SUPPLY CHARACTERISTICS BY MEANS OF ELECTROHYDRAULIC JET MODERNIZATION

A. Vrublevskiy, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
V. Chumak, student, I. Perevoznik, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
KhNAHU

Abstract. For improvement of two stage fuel-supply characteristics of electrohydraulic jet it is offered to install an additional volume before the inlet nozzle. In the result of a calculation research there were determined the geometrical dimensions of the given volume that improves the injection pressure of the main fuel portion by 18%.

Key words: accumulative fuel equipment, electrohydraulic jet, fuel, fuel-supply, injection pressure, additional volume.

Введение

В последние десятилетия появился и бурно развивается новый класс дизельной топливной аппаратуры (ТА), отвечающий самым высоким требованиям, предъявляемым к

процессу топливоподачи (ТП). Это аккумуляторная ТА с электронным управлением впрыскивания. Данная ТА и ее элементы стала объектом большинства исследований процесса ТП. Конструкция аккумуляторной ТА постоянно усложняется, а ее изготовле-

ние требует разработки новых высоких технологий. Важнейшим элементом любой ТА с электронным управлением является форсунка, определяющая характеристику топливоподачи. Волновые явления в топливных каналах форсунки, деформация иглы и мультипликатора, течение топлива в малых зазорах, сжимаемость топлива и другие процессы влияют на ТП. Наиболее ярко и, как правило, негативно указанные явления проявляются при попытке организации двухстадийной или многостадийной ТП, когда расстояние между соседними впрыскиваниями составляет 0,2 мс и менее.

Анализ публикаций

Разработчиками и исследователями аккумуляторной топливной аппаратуры с электронным управлением предложено множество решений, направленных на улучшение характеристики многостадийной топливоподачи. Радикальным решением задачи является использование пьезопреобразователя для привода клапана управления электрогидравлической форсунки [1, 2]. В таком случае повышается быстродействие форсунки, но возрастает в несколько раз и стоимость форсунки.

Другим путем решения задачи является совершенствование алгоритмов управления топливоподачей [3]. Реализация данного решения не влечет увеличения стоимости топливной аппаратуры, но имеет целый ряд ограничений, в частности по возможному количеству стадий впрыскивания, по достигаемому уровню давления впрыскивания. Улучшение характеристики впрыскивания происходит за счет повышения скорости перемещения управляющего клапана, увеличения силы, развиваемой преобразователем электрической энергии в механическое перемещение. Указанные решения не позволяют непосредственно воздействовать на волновые процессы, во многом определяющие текущий уровень давления в полостях высокого давления компонентов аккумуляторной топливной аппаратуры – гидроаккумуляторе, топливном насосе высокого давления и особенно электрогидравлической форсунке.

Изменить характер распространения импульса давления возможно:

– изменяя внутренний диаметр и длину трубопровода, соединяющего гидроаккумулятор и форсунку [3];

– используя явления деформации, проявляемые в подвижных деталях форсунки, и сжимаемость топлива [4];

– установкой в линии высокого давления форсунки дополнительных объемов – резонаторов [5], модуляторов [6].

Указанное решение можно использовать для модернизации серийной топливной аппаратуры, при этом стоимость модернизации незначительна. Очевидно, что улучшения характеристик ТП необходимо добиваться совместно путем модернизации гидравлической схемы ТА и использования новых алгоритмов управления ТП.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – повысить давление впрыскивания основной порции топлива при двухстадийной топливоподаче путем введения в конструкцию форсунки аккумуляторной топливной системы дополнительного объема.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

– провести расчетное исследование процессов, происходящих в электрогидравлической форсунке в период впрыскивания;

– определить место установки дополнительного объема его и оптимальные параметры.

Объект исследования

Объектом исследования является процесс топливоподачи, организованный при помощи электрогидравлической форсунки (ЭГФ), используемой в отечественной аккумуляторной топливной аппаратуре с электронным управлением разработки КП ХКБД. Расчетная схема ЭГФ (рис. 1) включает полости высокого (А, Б, В, Д) и низкого (Е, К, Л, М) давления, соединяющие данные полости топливные каналы, а также электромагнит клапанного типа и пружины сжатия. Указанная схема используется в большинстве серийно выпускаемых электромагнитных форсунок. Подробно работа исследуемой форсунки описана в [3, 6].

Моделирование процесса ТП в аккумуляторной аппаратуре

Исследование процесса топливоподачи в данной работе проведено с помощью математической модели, разработанной на кафе-

дре ДВС ХНАДУ [6]. Результат расчета двухстадийной топливоподачи при давлении в гидроаккумуляторе 140 МПа и паузе 0,1 мс, определяющей задержку подачи основной порции топлива, показан на рис. 2. Характерным для данного режима является процесс колебания давления в кармане распылителя.

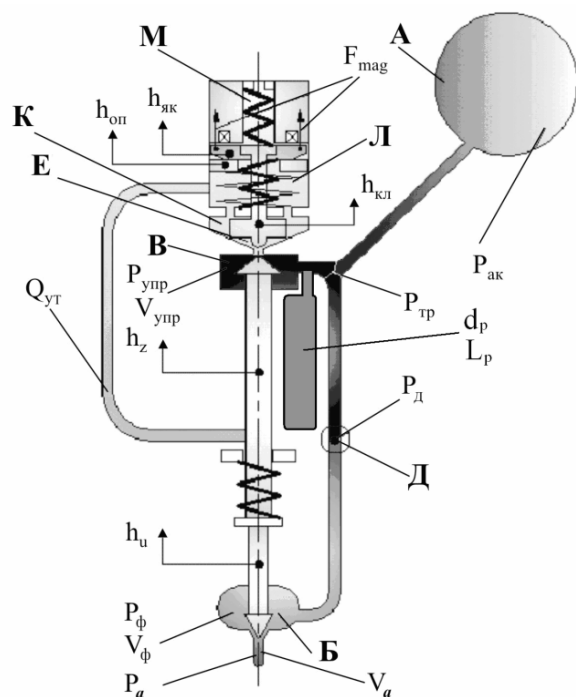


Рис. 1. Расчетная схема ЭГФ с дополнительным объемом

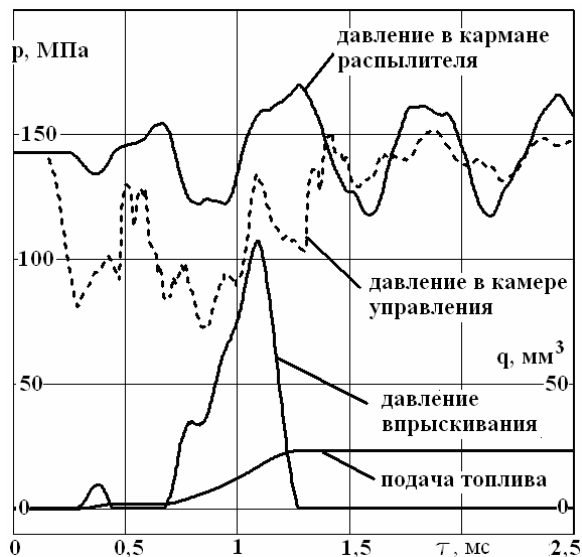


Рис. 2. Характеристики топливоподачи при использовании штатной электрогидравлической форсунки (пауза между предварительной и основной подачами 0,1 мс)

Вызванное волновыми явлениями в топливоподводящих каналах форсунки снижение да-

вления в кармане распылителя до 120 МПа, приходящееся на участок основного впрыскивания, приводит к падению максимального давления впрыскивания до 106 МПа. При этом суммарная цикловая подача топлива составила 25 мм³.

Использование дополнительного объема для повышения давления впрыскивания

Для уменьшения колебаний давления в кармане распылителя и полости управления в данной работе предложено разместить в линии высокого давления дополнительный объем. В данном промежуточном объеме будет происходить процесс сложения прямой и отраженной волн давления, что повысит давление в полости управления и кармане распылителя между впрыскиваниями. Важным фактором, делающим данное решение эффективным, является разделение дополнительной полости и полости камеры управления жиклером. При этом процессы, от которых зависит процесс ТП, будут развиваться следующим образом. При подаче электрического сигнала на катушку электромагнита управляющий клапан ЭГФ открывает выпускное отверстие в полости управления. Сила, действующая на мультипликатор, уменьшается, и мультипликатор, а вслед за ним и игла распылителя поднимаются. Происходит впрыскивание топлива.

Закрытие выпускного отверстия приводит к увеличению силы, действующей на мультипликатор, вследствие чего игла распылителя опускается и впрыскивание завершается. При данном способе разгрузки полости управления в процессе сброса топлива важно, как интенсивно происходит процесс ее наполнения.

Удаленность объема сжатого топлива (гидроаккумулятора) затягивает процесс восстановления давления в полости управления. Установка дополнительного объема сжатого топлива, давление в котором равно давлению в гидроаккумуляторе, позволит ускорить процесс восстановления давления в полости управления, что наиболее критично при организации многостадийной ТП с длительностью между соседними стадиями менее 0,2 мс.

Важным преимуществом использования дополнительной полости также является увеличение объема сжатого топлива, находящегося в непосредственной близости от кармана распылителя.

Следовательно, при выборе места установки дополнительного объема необходимо стремиться к расположению его как можно ближе к впускному жиклеру. С точки зрения компоновки и использования в серийной ГА, наиболее приемлемым является расположение дополнительного объема у штуцера форсунки. В таком случае монтаж и демонтаж дополнительного объема можно производить непосредственно на двигателе без замены трубопроводов, соединяющих форсунку с топливным аккумулятором.

Определение оптимальных параметров дополнительного объема

Следующим шагом явилось определение оптимальных размеров дополнительной цилиндрической полости – диаметра d_p и длины L_p . Очевидно, что необходимый объем полости возможно получить при различном сочетании данных параметров. Критерием при оптимизации является максимальное давление впрыскивания P_a основной порции топлива при двухстадийной ТП. Функциональными ограничениями являются пределы варьирования внутреннего диаметра d_p и длины L_p , а также исключение подвпрыскиваний. Пределы варьирования выбраны следующие:

- для диаметра d_p – от 7 мм до 11,5 мм;
- для длины L_p – от 22 мм до 52 мм.

Оптимизационная задача решается с помощью метода исследования пространства параметров [7]. На первом этапе для фиксированного режима (давление в гидроаккумуляторе 140 МПа, пауза между управляющими импульсами 0,1 мс) с помощью генератора ЛПТ-последовательности определены 32 пробные точки в плоскости параметров (d_p , L_p). В результате расчета получена таблица испытаний (табл. 1) и построен график (рис. 4). Анализ табл. 1 позволил выделить 11 и 31 пробные точки, в которых давление P_a принимает максимальные значения 130 и 132 МПа. При этом цикловая подача $q_{ц}$ по сравнению с идентичными параметрами управляющего сигнала и $P_{ак}$ увеличивается в 1,32 раза. Максимальная деформация мультипликатора DEF уменьшается, а скорость перемещения мультипликатора ЭГФ C_m возрастает до 1 м/с. В указанных пробных точках параметр L_p стремится к максимальному значению 52 мм, а оптимальный диаметр d_p находится в центре варьированного диапазона.

Таблица 1 Исходные данные и результаты расчета

№	d_p , мм	L_p , мм	DEF, мм	C_m , м/с	P_a , МПа	$q_{ц}$, мм ³
1	9,165	37,5	57,55	0,706	91,041	22,63
2	10,247	30	55,211	0,708	64,391	16,607
3	7,937	45	52,912	0,98	128,429	31,929
4	9,721	26,25	55,7	0,711	66,348	16,528
5	7,246	41,25	57,101	0,771	116,888	29,105
6	8,573	33,75	58,696	0,779	91,636	23,244
7	10,747	48,75	53,124	0,74	129,148	32,862
8	10,989	24,375	54,968	0,874	122,835	31,94
9	8,874	39,375	53,474	0,71	113,958	28
10	7,599	31,875	56,933	0,667	102,028	26,194
11	9,987	46,875	53,4	0,948	129,884	33,328
12	8,261	28,125	57,821	0,696	87,094	22,036
13	10,5	43,125	53,599	0,792	129,15	32,762
14	9,447	35,625	56,649	0,751	86,125	21,355
15	6,874	50,625	53,04	0,876	126,381	33,706
16	9,307	23,438	58,083	0,764	91,352	22,11
17	6,68	38,44	54,944	0,974	124,43	32,155
18	8,101	30,938	56,87	0,67	95,46	24,45
19	10,37	45,94	52,89	1,00	129,34	32,54
20	7,43	27,19	57,17	0,70	67,84	17,96
21	9,86	42,19	56,88	0,78	99,19	24,04
22	10,87	34,69	54,51	0,72	116,24	28,98
23	8,73	49,69	53,25	1,00	128,96	33,11
24	9,02	25,31	56,60	0,79	81,54	19,64
25	11,11	40,31	54,57	0,71	76,32	19,37
26	10,12	32,81	55,20	0,82	96,61	23,14
27	7,77	47,81	55,07	0,93	127,55	33,78
28	10,62	29,06	53,80	0,70	58,96	15,39
29	8,42	44,06	54,48	0,95	128,24	33,35
30	7,06	36,56	58,08	0,70	107,87	27,16
31	9,59	51,56	52,50	1,10	132,12	33,87
32	10,44	22,97	54,95	0,74	76,09	17,54

Расчетные характеристики при параметрах (d_p , L_p) в 11 точке показаны на рис. 3.

Повышение давления впрыскивания P_a является следствием уменьшения колебаний давления в кармане распылителя между впрыскиваниями, а также сокращения времени восстановления давления топлива в камере управления. При идентичных с (рис. 4) параметрах управляющего импульса цикловая подача увеличилась с 25 до 34 мм³.

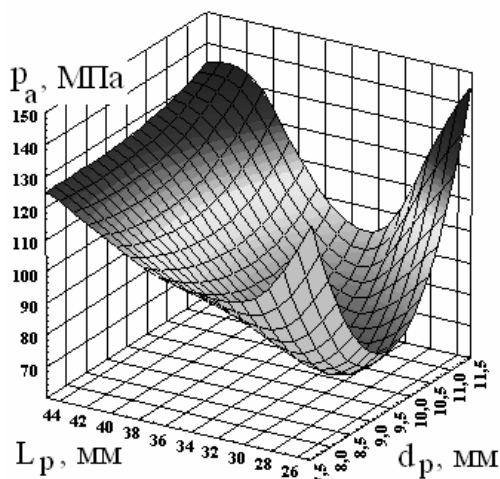


Рис. 3. Зависимость давления впрыскивания основной подачи топлива от длины L_p и диаметра d_p дополнительного объема



Рис. 3. Характеристики топливоподачи при оптимальных размерах дополнительного объема

Выводы

Исследован процесс двухстадийной топливоподачи в аккумуляторной топливной системе с электрогидравлической форсункой. Определена зависимость колебаний давления в кармане распылителя на характеристики топливоподачи.

Предложено для уменьшения амплитуды колебаний давления в кармане распылителя между предварительной и основной стадиями топливоподачи установить между камерой управления и штуцером форсунки дополнительный объем.

С помощью метода исследования пространства параметров определены оптимальные размеры резонатора (диаметр 10 мм, длина 46,8 мм), обеспечивающие повышение давления впрыскивания основной порции топлива с 107,5 МПа до 130 МПа при давлении в топливном аккумуляторе 140 МПа.

Литература

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей : учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
2. Мешков Д.В. Розробка системи паливоподачі з електронним керуванням автотракторного дизеля з лінійним п'єзоелектричним перетворювачем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / Мешков Денис Вікторович. – Харків, 2010. – 20 с.
3. Денісов О.В. Вибір і обґрунтування параметрів електрогидравлічної форсунки для аккумуляторної паливної системи високообертового дизеля : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / Денісов Олексій Валерійович. – Харків, 2009. – 20 с.
4. Драган Ю.Е. Методика учета сжимаемости топлива и деформации штанги при математическом моделировании электрогидравлических форсунок / Ю.Е. Драган // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукр. науч.-техн. журнал. – 2007. – №2. – С. 44 – 52.
5. Beierer P. Experimental and numerical analysis of the hydraulic circuit of a high pressure common rail fuel injection system: thesis for the degree of doctor of technology / Beierer Philipp; Tampere University of Technology – Tampere, 2007. – 200 p.
6. Врублевский А.Н. Научные основы создания аккумуляторной топливной системы для быстроходного дизеля : моногр. / А.Н. Врублевский. – Харків: ХНАДУ, 2010. – 216 с.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2010 г.