

УДК 621.436

С.И. Тырловой, доцент, канд. техн. наук,**Л.Г. Косоногова, доцент, канд. техн. наук,****С.А. Бритик, доцент, канд. техн. наук***Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина***К РАСЧЕТУ ПРОЦЕССА ВПРЫСКА В АККУМУЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ ДИЗЕЛЯ**

Приведена модель процесса впрыска топлива в цилиндр дизеля с аккумуляторной системой питания (АСП) на основе статического метода расчета. Модель позволяет определять зависимости цикловой подачи топлива от частоты вращения, времени впрыска, давления в аккумуляторе и физических свойств топлива. Полученные данные могут лечь в основу расчета переходных режимов дизелей с АСП и, в конечном итоге, для определения эксплуатационного расхода топлива установок с названными дизелями.

Ключевые слова: аккумуляторные системы впрыска, путевой расход топлива, переходные процессы дизелей, цикловая подача, топливный насос, электрогидравлическая форсунка.

Постановка проблемы. С начала 2000 годов в Украине увеличивается использование экономичных высокооборотных автомобильных дизелей зарубежного производства с аккумуляторными системами впрыска различных поколений, проводятся работы по созданию отечественных образцов АСП транспортных дизелей в ВАТ «ЧЗПА», КП ХКБД, лабораториях ХНАДУ, НТУ ХПИ и других. В связи с этим возникают вопросы по определению и прогнозированию эксплуатационных расходов топлива транспортных установок с АСП при различных условиях эксплуатации, включающими в себя физические свойства топлива, износ элементов топливной аппаратуры, маршруты движения. Переходные процессы автомобильных силовых установок составляют значительную долю общего времени их работы. Ставя задачу расчетного определения эксплуатационного расхода топлива установок с дизелями, оснащенными АСП, на первом этапе исследования необходимо иметь несложную расчетную модель АСП, позволяющую в то же время достаточно достоверно оценить подачу топлива за рабочий цикл с учетом износов топливной аппаратуры (ТА) и физических свойств топлива. Это связано с необходимостью выполнять счет большого числа переходных процессов, включающих в себя множество рабочих циклов. Данных, содержащихся в технических характеристиках установок с ДВС, совершенно недостаточно для решения поставленной задачи.

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время расчету АСП уделяется серьезное внимание, этому вопросу посвящены многие работы [1-6] и другие. Ведущими исследовательскими фирмами разработаны программные комплексы для моделирования работы ТА с электронным управлением. Известные коммерческие пакеты HYDSIM (AVL), GT-FUEL, AMESim и русский расчетный комплекс «Дизель» содержат модули расчета ТА.

Весьма упрощенная модель [4] позволила автору выполнить расчетные исследования экспериментальной АСП дизеля СМД, однако процессы сжатия топлива плунжерами и другие описаны слишком упрощенно. В работе [5] приведена математическая модель процесса впрыскивания, базирующаяся на статическом методе расчета впрыскивания с учетом электродинамических процессов в органах управления. Выполнено имитационное моделирование процесса впрыскивания в аккумуляторной ТА автомобильных дизелей. В модели реализуется описание весьма сложных электромагнитных процессов, однако при описании топливного насоса весьма упрощенно учитываются надплунжерные объемы.

В работах [6,7] для описания процессов, которые происходят в ТА во время впрыскивания, создана математическая модель высокого уровня, в которой учтено большинство известных факторов, влияющих на изменение давления топлива в полостях ТА, а также скорости перемещения иглы, клапана управления и якоря форсунки. Расчет гидромеханических процессов выполняется одновременно с моделированием электродинамических процессов в цепи управления и в электромагните. Это приводит к увеличению времени счета процесса впрыска в цилиндры дизеля за один рабочий цикл, а тем более для переходного процесса, включающего множество циклов. Для определения и прогнозирования эксплуатационных расходов топлива различных транспортных средств при различных условиях движения требуется моделировать множество переходных и установившихся режимов в пределах городских и магистральных циклов. Поэтому использование рассмотренных методик может оказаться недостаточно эффективным для анализа эксплуатационных режимов автотракторных дизелей.

В настоящей статье приведена модель процесса впрыска топлива в цилиндр высокооборотного автомобильного дизеля с аккумуляторной системой питания (АСП) на основе статического метода расчета, учитывающая основные объемы системы, динамику открытия и закрытия управляющих

органов, а электромагнитными процессами пренебрегается ввиду их быстротечности для выполненных конструкций.

Цель статьи – получить расчетную модель процесса впрыска топлива в цилиндр дизеля с аккумуляторной системой питания, учитывающую основные объемы системы, динамику открытия и закрытия управляющих органов, позволяющую определять эксплуатационный расход топлива с учетом технического состояния топливной аппаратуры и применяемого топлива.

Материалы и результаты исследований. В расчетную схему (рисунок 1) включен 2-х плунжерный топливный насос высокого давления с впускными и выпускными клапанами, аккумулятор с редукционным клапаном и электрогидравлическая форсунка.

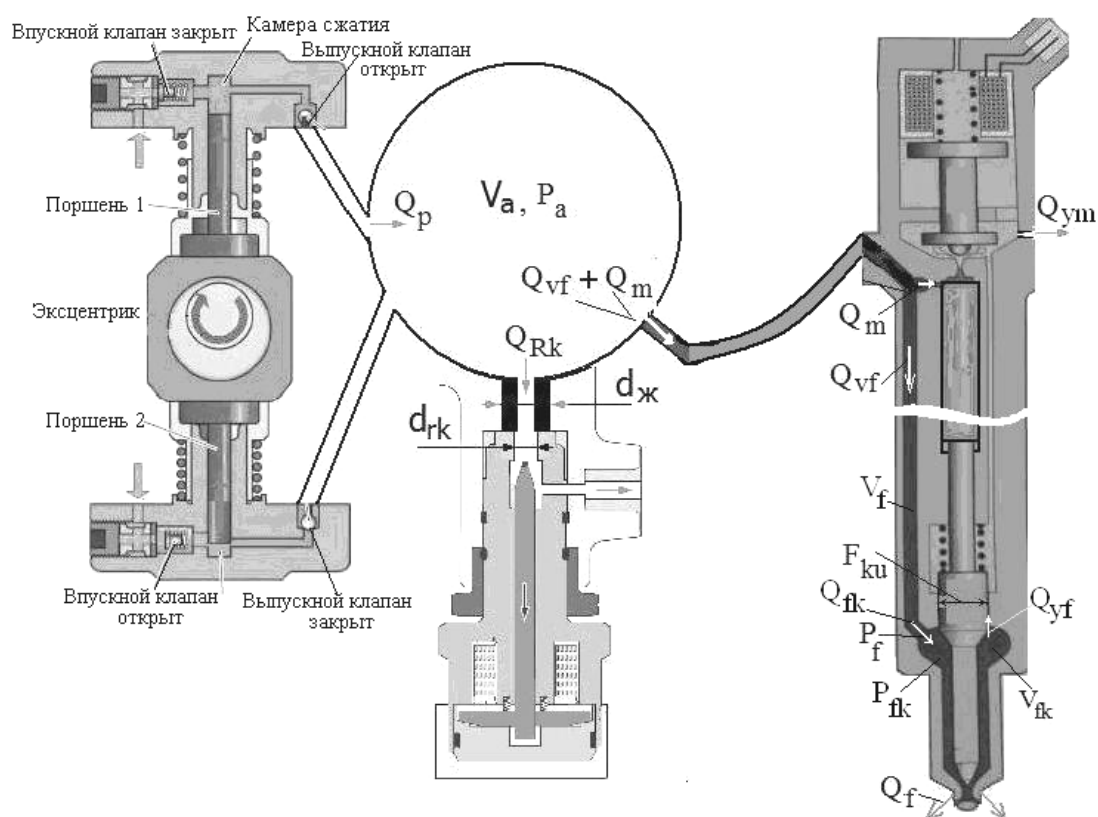


Рисунок 1 – Расчетная схема аккумуляторной системы питания

Ниже приведены основные расчетные формулы, обозначения объемов, давлений и сечений показано на рисунке 1, μ – коэффициенты расхода, f – сечения, β – коэффициент сжимаемости, ρ – плотность топлива, dt – шаг интегрирования. Давление в аккумуляторе

$$p_a = p_a + \frac{1}{\beta V_a} (Q_p - Q_{Rk} - Q_{vf} - Q_m) dt,$$

где Q_p , Q_{Rk} , Q_{vf} , Q_m – соответственно расход в аккумулятор из надплунжерной полости (верхней или нижней), из аккумулятора в редукционный клапан, на вход в канал форсунки и полость мультипликатора.

Расходы топлива в сечениях вычислены как функции перепада давлений и проходных сечений, например, расход на входе в канал форсунки

$$Q_{vf} = \text{sign}(P_a - P_f) \mu_f f_f \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_a - P_f|}.$$

Расход на входе в камеру управления мультипликатора

$$Q_m = \text{sign}(P_a - P_m) \mu_m f_m \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_a - P_m|}.$$

Давление в камере управления мультипликатора

$$p_m = p_m + \frac{1}{\beta V_m} (Q_m - Q_{ym}) dt.$$

Давление в канале форсунки

$$p_f = p_f + \frac{1}{\beta V_f} (Q_{vf} - Q_{fk}) dt.$$

Давление в кармане форсунки

$$p_f = p_f + \frac{1}{\beta V_{fk}} (Q_{fk} - Q_f - Q_{yf} - F_{ku} \cdot C_u) dt,$$

здесь Q_f , Q_{yf} , C_u – расход сопловых отверстий, утечки в сопряжении иглы и ее скорость.

Далее моделировались процессы впрыска при различных частотах вращения (от 750 до 3800 мин⁻¹) и продолжительностях управляющего импульса (2-5 мс). Для иллюстрации возможностей программы проанализировано влияние зазора между иглой и корпусом распылителя на изменение (ΔB) цикловой подачи дизельного топлива вязкостью 4 сСт (рисунок 2).

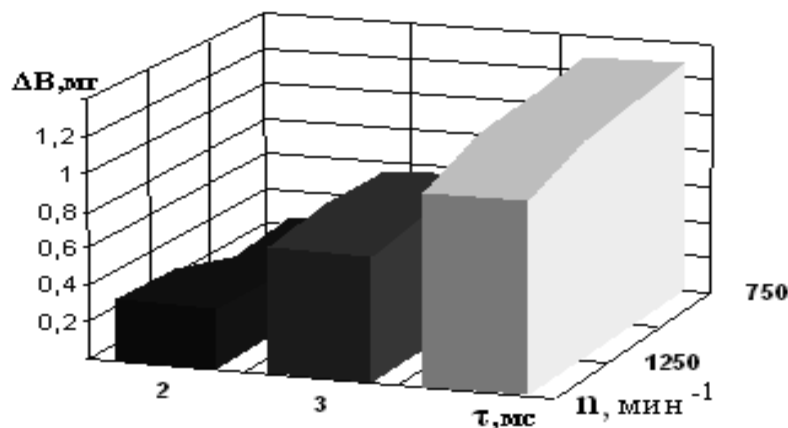


Рисунок 2 – Снижение $B_{ц}$ при увеличении зазора между иглой и распылителем на 2 мкм

Так же определен закон подачи (рисунок 3) того же топлива в зависимости от частоты вращения и продолжительности управляющего импульса τ (в мс) для дизеля Ч12/14 с АСП: $B_{ц} = a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot \tau + a_4 \cdot \tau^2 + a_5 \cdot x \cdot \tau + a_0$ (здесь $x = n/100$, $a_5 = 0.186$, $a_4 = 0.495$, $a_3 = -7.813$, $a_2 = -0.125$, $a_1 = 1.377$, $a_0 = 30.945$).

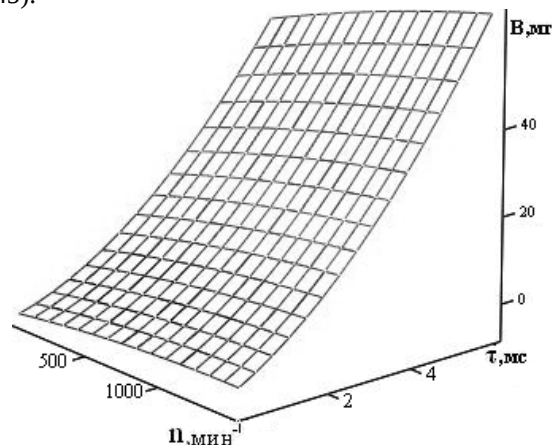


Рисунок 3 – Закон изменения цикловой подачи дизельного топлива в зависимости от частоты вращения двигателя и продолжительности управляющего импульса

Выводы:

1. При одинаковой продолжительности управляющего импульса действительная продолжительность процесса впрыска зависит от частоты вращения ДВС из-за инерционности перемещения иглы форсунки.

2. С увеличением частоты вращения ДВС при одинаковой продолжительности управляющего импульса величина цикловой подачи топлива увеличивается в результате возрастания названной динамической ошибки и уменьшения утечек топлива при возрастании оборотов двигателя.

3. Величины средних диаметральных зазоров игла – корпус распылителя в диапазоне 2 - 4 мкм изменяет величину цикловой подачи дизельного топлива не более 2% для всех рабочих скоростных режимах двигателя (кроме режимов пуска) дизеля Ч12/14 с АСП.

4. Полученные зависимости $B_{ц}(n, \tau)$ (закон изменения цикловой подачи топлива) могут быть использованы для моделирования работы электронного регулятора частоты вращения и включены в комплекс программ по определению и прогнозированию эксплуатационного расхода топлива автомобильных дизелей с АСП.

Библіографічний список використаної літератури

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура с электронным управлением дизелей и двигателей с непосредственным впрыском бензина: учебно-методическое пособие / Л.В. Грехов. — М.: Легион-Автодата, 2001. — 176 с.

2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Ивашенко, В.А. Марков. — М.: Легион-Автодата, 2005. — 344 с.

3. Емельянов Л.А. Развитие комплекса математических моделей дизеля, оснащенного аккумуляторной топливной системой с электронным управлением : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Л.А. Емельянов. — М.: МАДИ (ГТУ), 2007. — 18 с.

4. Лисовал А.А. Теоретичні основи управління подачею палива і повітря в дизелях з газотурбінним наддувом: Автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.05.03 / А.А. Лисовал. — К: НТУ, 2011. — 36 с.

5. Зенкин С.Ю. Розробка методу прискореного діагностування автомобільних дизелів з акумуляторними системами паливоподачі: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / С.Ю. Зенкин. — Х.: ХНАДУ, 2009. — 20 с.

6. Врублевский А.Н. Математическое и физическое моделирование работы аккумулирующей топливной аппаратуры дизеля / А.Н. Врублевский, А.В. Денисов // Современные проблемы двигателестроения: состояние, идеи, решения: материалы 2-й всеукраинской научно-технической конференции. — Первомайск, 2007. — С. 41–45.

7. Врублевський О.М. Наукові основи вибору параметрів акумуляторної паливної апаратури з електронним керуванням для високообертового дизеля: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / О.М. Врублевський. — Х: ХНАДУ, 2010. — 36 с.

Поступила в редакцію 03.05.2012 г.

Тирловий С.І., Косоногова Л.Г., Бритік С.О. До розрахунку процесу упорскування в акумуляторній системі при експлуатаційних режимах дизеля

Наведено модель процесу упорскування палива в циліндр дизеля з акумуляторною системою живлення (АСЖ) на основі статичного методу розрахунку. Модель дозволяє визначати залежності циклової подачі палива від частоти обертання, часу упорскування, тиску в акумуляторі й фізичних властивостей палива. Отримані дані можуть лягти в основу розрахунку перехідних режимів дизелів з АСЖ і, в остаточному підсумку, для визначення експлуатаційної витрати палива установок з названими дизелями.

Ключові слова: акумуляторні системи упорскування, шляхова витрата палива, перехідні процеси дизелів, циклова подача, паливний насос, електрогідравлічна форсунка.

Tyrlovoy S.I., Kosonogova L.G., Britik S.A. The calculation of the injection system in battery for engine performance conditions

A model of the process of injection of fuel into the cylinder diesel engine with a accumulator feed system (ACP), based on a static method of calculation. The model allows to determine the dependence of the fuel cycle speed, injection time, pressure in the accumulator and the physical properties of the fuel. These data could form the basis for the calculation of transitional regimes diesel with automatic transmission and, ultimately, to determine the operating fuel systems with the above engines.

Keywords: rechargeable fuel injection system, track fuel consumption, diesel engines transients, cyclic pitch, fuel pump, electro-injector.