

ИССЛЕДОВАНИЕ ВПРЫСКА ТОПЛИВА В СИСТЕМЕ COMMON RAIL НА УНИКАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ УСТАНОВКЕ «ВПРЫСК»

д.т.н. Камалтдинов В.Г.¹, д.т.н. Марков В.А.², Лысов И.О.¹, к.т.н. Попов А.Е.¹, Смолий А.Е.¹

¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

vkamaltdinov@yandex.ru

Приведено описание уникальной научной установки «Впрыск» для экспериментальных исследований динамики развития топливных факелов при различных условиях впрыскивания в камеру постоянного объема. Установка оборудована системами топливоподачи типа *Common Rail* с регулируемым давлением топлива, подачи сжатого воздуха из баллона, продувки камеры постоянного объема, управления стендом, регистрации управляющих импульсов, а также высокоскоростной видеосъемкой процессов внутри камеры. С помощью контроллера-синхронизатора задавались моменты начала и окончания электрического импульса управления электромагнитной форсункой, одновременной видеосъемки на цветную высокоскоростную видеокамеру *Photron FASTCAM SA-X2* и записи осциллограмм на цифровом осциллографе *Tektronix TDS-2014C*. Продолжительность электрического импульса управления форсункой задавалась от 0,5 мс до 3,0 мс. Давление в топливной рампе задавалось от 100 МПа до 165 МПа. Фактические моменты начала и окончания впрыска топлива определялись по результатам видеосъемки и отсчитывались от ее начала. Задержки начала и окончания впрыска определялись по сопоставлению результатов видеосъемки с регистрацией электрических импульсов управления форсункой на осциллографе. Динамика изменения длины и угла конуса топливных факелов определялись измерением контуров видимых частей факелов на фоторегистрациях. Задержки начала и окончания впрыска топлива практически на всех исследованных режимах составили 0,3 мс и 1,0 мс соответственно. В результате продолжительность процесса впрыска топлива как правило на 0,7 мс превышала продолжительность управляющего импульса. В начале впрыска в течение 0,5 мс скорость движения вершин топливных факелов составляла 35...50 м/с в зависимости от давления, затем она снижалась до 31...38 м/с. Установлено, что при увеличении давления в топливной рампе от 100 МПа до 165 МПа углы конусов топливных факелов уменьшаются от 20°...22° до 17,5°...18,5°, то есть в среднем на 15 %.

Ключевые слова: дизель, *Common Rail*, форсунка, давление впрыска топлива, видеосъемка, топливный факел.

Введение

Практически вся транспортная, сельскохозяйственная, строительная и специальная техника в России оснащена дизельными двигателями. Они постоянно совершенствуются в том числе и за счет применения топливоподающей аппаратуры типа *Common Rail*, которая обеспечивает более экономичную работу с меньшим выбросом вредных веществ в окружающую среду. Основным преимуществом этой системы является возможность управления подачей топлива посредством электронного блока управления, что позволяет оперативно регулировать начало впрыска и величину цикловой подачи топлива, а также его давление в широком диапазоне.

Разработка алгоритма управления форсункой в топливной системе типа *Common Rail* является основополагающим фактором для

эффективной работы дизеля. Задание характеристик электрического импульса управления форсункой существенно упрощается при использовании специализированных безмоторных стендов, позволяющих провести исследование процессов впрыска топлива и смесеобразования. При этом уточняются конструктивные и регулировочные параметры элементов топливоподающей аппаратуры. Результаты экспериментальных исследований на безмоторных стендах также необходимы при разработке технических решений по организации внутрицилиндрового пространства, в частности, формы камеры сгорания.

Такой подход целесообразно использовать при решении задач настройки и регулировки топливной аппаратуры типа *Common Rail*, определения характеристик впрыскивания

и распыливания топлива на этапах предварительных и доводочных испытаний транспортных дизелей. В данном случае работа посвящена адаптации параметров топливной аппаратуры типа *Common Rail* для установки ее на транспортный дизель типа ЧН15/16.

Известны работы в этом направлении ряда зарубежных и отечественных авторов.

Так, авторами *Musculus M.P.B., Miles P.C., Pickett L.M.* разработана концептуальная модель предварительно подготовленного низкотемпературного сгорания дизельного топлива и проведены съемки топливных факелов в процессе впрыска [1]. Другая группа исследователей (*Seykens X.L.J., Somers L.M.T., Baert R.S.G.*) провела детальное моделирование процесса впрыска топлива с разработкой безмоторного стенда [2]. Также много работ посвящено разработке и развитию моделей топливного факела [3–7]. В то же время при проведении исследования [7] были затронуты вопросы моделирования процессов кавитационной эрозии сопловых отверстий и внутренней полости распылителя.

Luo X, Wang S, de Jager B, Frank W. решали задачу моделирования многофазного впрыска топлива на основе реальной модели двигателя [8].

Экспериментально с высокоскоростной видеосъемкой исследовано влияние двухступенчатого впрыска на количество впрыскиваемого топлива, сгорание и уровень выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами в дизельном двигателе с системой типа *Common Rail* [9]. При этом авторы исследовали не только процесс впрыска, но и процесс сгорания топлива. Аналогичные исследования топливного факела представлены в работах [10, 11].

По результатам работы [12] определено влияние давления впрыскивания топлива на его распыливание и распределение по камере сгорания. Высокоскоростная визуализация переходных процессов распыливания дизельного топлива при впрыскивании под высоким давлением многосопловыми топливными форсунками позволила провести сравнение различных вариантов при разных давлениях впрыска.

Обзор существующих работ показывает актуальность и целесообразность проведения предварительных экспериментальных исследований топливной аппаратуры типа *Common Rail* на безмоторном стенде перед установкой ее на полноразмерный двигатель.

Цель исследования

Основная цель данной работы определена как экспериментальное определение динамики развития топливных факелов при различных условиях впрыскивания топливоподающей аппаратурой типа *Common Rail* в камеру постоянного объема.

Экспериментальная установка

В Южно-Уральском государственном университете разработана и изготовлена уникальная научная установка (УНУ) «Впрыск» с камерой постоянного объема и высокоскоростной видеосъемкой [13]. Она предназначена для комплексного исследования процесса формирования распыленной топливной струи и определения распределения топлива по объему камеры сгорания для дизелей различной мощности. УНУ «Впрыск» спроектирована с учетом мирового опыта в области моделирования [1–4] и проведения экспериментальных исследований процессов впрыскивания, распыливания, смесеобразования и сгорания топлива как на моторных, так и на безмоторных стендах [5, 9, 10].

Схема УНУ «Впрыск» приведена на рис. 1. Она оснащена следующими системами: топливоподачи типа *Common Rail* с регулируемым давлением от 100 до 200 МПа, подачи сжатого воздуха из баллона, продувки камеры постоянного объема, измерения давления и температуры газовой смеси, управления оборудованием стенда, регистрации управляющих импульсов, а также высокоскоростной видеосъемки.

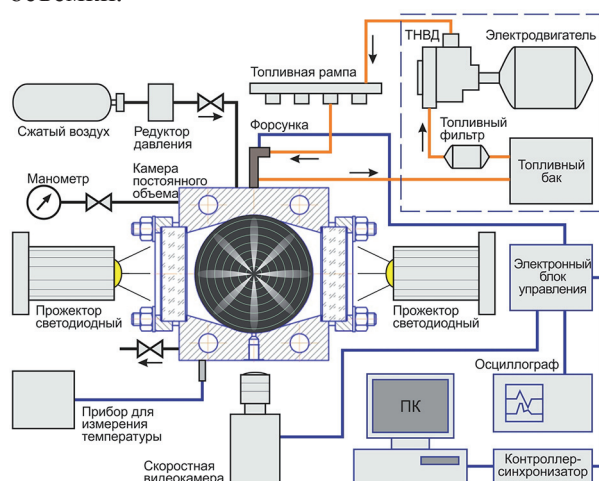


Рис. 1. Схема УНУ «Впрыск» для исследования процессов впрыска топлива и смесеобразования в камере постоянного объема

Основу стенда составляет универсальная камера постоянного объема с внутренним диаметром 150 мм, рассчитанная для работы под давлением до 10 МПа. В камере имеются три окна из высокопрочного кварцевого стекла для подсветки и скоростной видеосъемки движения факела распыленного топлива, гнездо для установки топливной форсунки типа *Common Rail*, краны для подачи воздуха и продувки, а также манометр и термометр для измерения давления и температуры.

С двух сторон камеры постоянного объема напротив боковых окон установлены светодиодные прожекторы мощностью 100 Вт (рис. 2).



Рис. 2. Камера постоянного объема со светодиодными прожекторами

Подача топлива в камеру постоянного объема осуществляется через электромагнитную форсунку, установленную в нижней части, напротив фронтального окна. Распылитель имеет 8 отверстий диаметром 0,3 мм. Давление топлива задается и регулируется в безмоторном стенде *HU-EPS200* фирмы *Taian Haiyu Machinery Co., Ltd*, установленном рядом с камерой (рис. 3).

Система управления стендом включает персональный компьютер (ПК), контроллер-синхронизатор и электронный блок управления с силовыми электронными ключами (рис. 1), установленные рядом с камерой (рис. 3). С помощью программы на ПК задаются моменты времени всех управляющих импульсов, что обеспечивает синхронность единичного впрыска топлива в камеру постоянного объема, включения скоростной видеокамеры и регистрации процессов на 4-х канальном цифровом цветном осциллографе *Tektronix TDS-2014C*.

Для получения высокоскоростной цветной видеозаписи используется видеокамера японской фирмы *Photron FASTCAM SA-X2*. Скорость видеосъемки задается от 1 000 до 100 000 кадров в секунду. Результаты сохраняются в формате видео и фото. Примеры фотографий развития топливных факелов в камере постоянного объема через 1,7 мс после начала подачи управляющего импульса на электромагнитную форсунку при различных давлениях в аккумуляторе (от 100 до 165 МПа) представлен на рис. 4.

Методика экспериментальных исследований

Зависимость динамики развития топливных факелов, а также фактического начала и окончания впрыска топлива от электрического импульса управления форсункой при различных давлениях в топливной рампе являются определяющим условием разработки алгоритма управления форсункой дизельного двигателя.

Однако в литературных источниках этому вопросу уделяется недостаточно внимания, а выводы носят противоречивый характер. Анализ приведенных работ позволил разработать методику исследований на УНУ «Впрыск» для проведения испытаний дизельных топливных форсунок. Поэтому в описываемых экспериментальных исследованиях решались задачи по определению продолжительностей задержки фактического начала и фактического



Рис. 3. УНУ «Впрыск» для исследования процессов впрыска и смесеобразования в камере постоянного объема с высокоскоростной видеосъемкой:

- 1 – электронный блок управления;
- 2 – контроллер-синхронизатор;
- 3 – персональный компьютер;
- 4 – осциллограф;
- 5 – скоростная видеокамера;
- 6 – камера постоянного объема со светодиодными прожекторами;
- 7 – стенд для испытаний топливной аппаратуры типа *Common Rail*

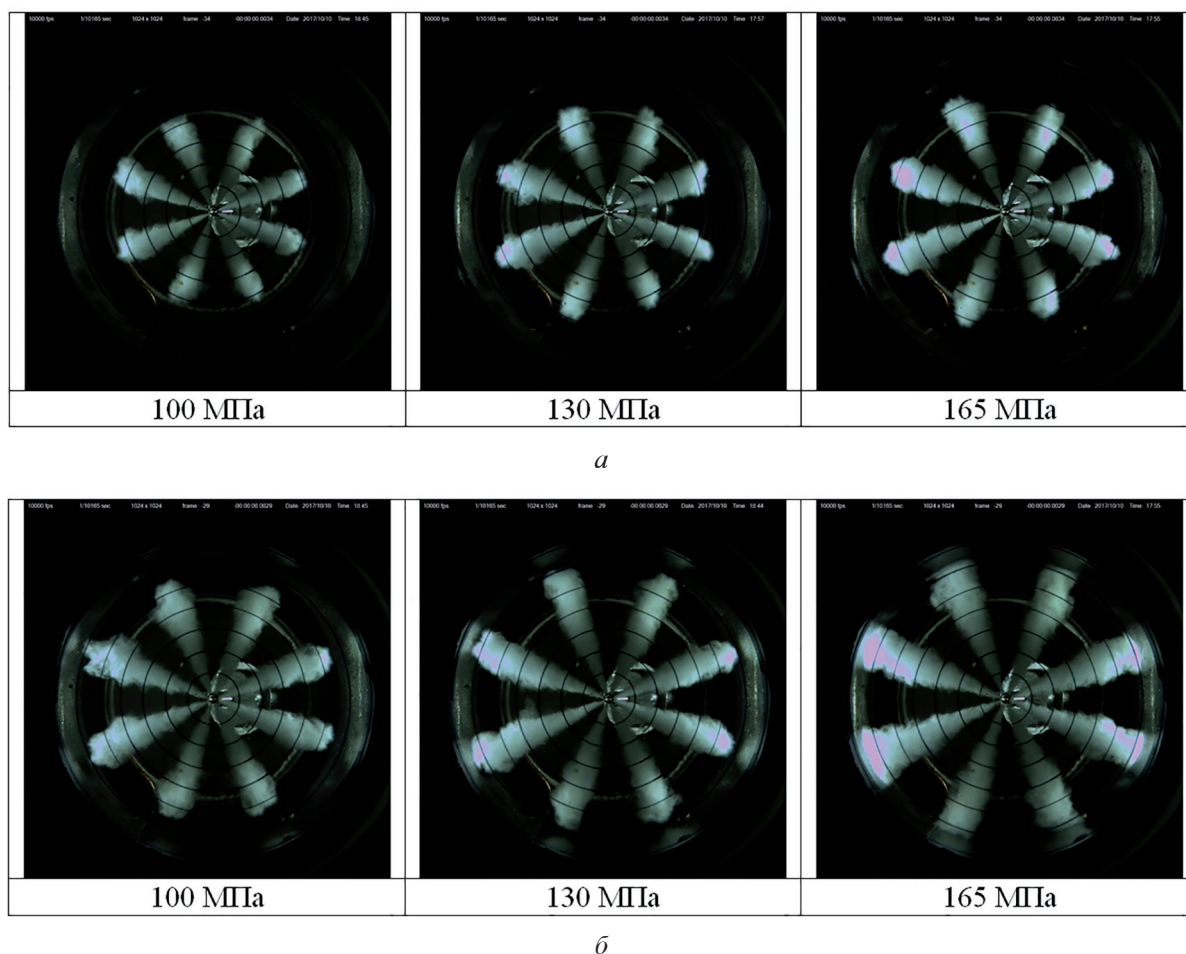


Рис. 4. Примеры фотографий развития топливных факелов в камере постоянного объема при продолжительности электрического импульса управления форсункой 1,0 мс и различных давлениях в топливной рампе системы Common Rail:

а – в момент времени 1,3 мс от начала впрыска; *б* – в момент времени 1,8 мс от начала впрыска

окончания процесса впрыска топлива, динамики изменения длины распыленных топливных факелов, величины углов конусов топливных факелов при различных продолжительностях электрического импульса управления форсункой и давлениях в топливной рампе.

Во время экспериментов с помощью контроллера-синхронизатора задавались моменты начала $\tau_{н.впр}$ и окончания $\tau_{ок.впр}$ электрического импульса управления электромагнитной форсункой, видеосъемки на видеокамеру и записи осциллограмм на цифровом осциллографе. Продолжительность электрического импульса управления форсункой задавалась от 0,5 мс до 3,0 мс с шагом 0,5 мс. Начальное давление в топливной рампе задавалось от 100 МПа до 165 МПа. Давление воздуха в камере постоянного объема поддерживалось на уровне 3,0 МПа при температуре около 20 °С.

Фактические моменты начала $\tau_{н.впр}$ и окончания $\tau_{ок.впр}$ впрыска топлива электромагнитной

форсункой определялись по результатам видеосъемки и отсчитывались от ее начала. При скорости видеосъемки 10 000 к/с временной интервал между последовательными кадрами составлял 0,1 мс. За момент начала впрыска $\tau_{н.впр}$ принимался момент, когда появлялись первые струи топлива из сопловых отверстий распылителя. За момент окончания впрыска $\tau_{ок.впр}$ принимался момент, когда прекращалось истечение топлива из сопловых отверстий распылителя. Продолжительность впрыска топлива $\tau_{впр}$ определялась как разница между моментами окончания $\tau_{ок.впр}$ и начала $\tau_{н.впр}$ впрыска топлива.

Продолжительности задержек начала впрыска $\tau_{з.н.впр}$ и окончания впрыска $\tau_{з.ок.впр}$ определялись по сопоставлению результатов временной регистрации электрических импульсов управления форсункой на цифровом осциллографе *Tektronix TDS-2014C* с результатами фиксации моментов начала и окончания впрыска видео-

камерой *FASTCAM SA-X2*. При одновременном включении видеокамеры и подачи электрического импульса управления форсункой, $\tau_{з.н.впр}$ численно равна $\tau_{н.впр}$. Продолжительность задержки окончания впрыска $\tau_{з.ок.впр}$ определялась как разница между моментами $\tau_{ок.впр}$ и $\tau_{ок.у.впр}$.

Динамика изменения длины распыленных топливных факелов определялась измерением длин видимых частей факелов (расстояний от сопла распылителя до вершины видимой части топливных факелов) по их изображениям с течением времени, полученным в результате видеосъемки на высокоскоростной видеокамере.

Результаты исследований

Результаты скоростной видеосъемки на всех исследованных режимах обрабатывались для определения задержек начала $\tau_{з.н.впр}$ и окончания $\tau_{з.ок.впр}$ впрыска топлива, а также длин и углов конусов топливных факелов на каждом кадре. Полученные данные оформлялись в виде таблиц, по которым построены графики зависимости продолжительности процесса впрыска топлива и задержки окончания впрыска от давления в топливной рампе $p_{т.р.}$ (рис. 5) и продолжительности электрического импульса управления форсункой $\tau_{у.впр}$ (рис. 6).

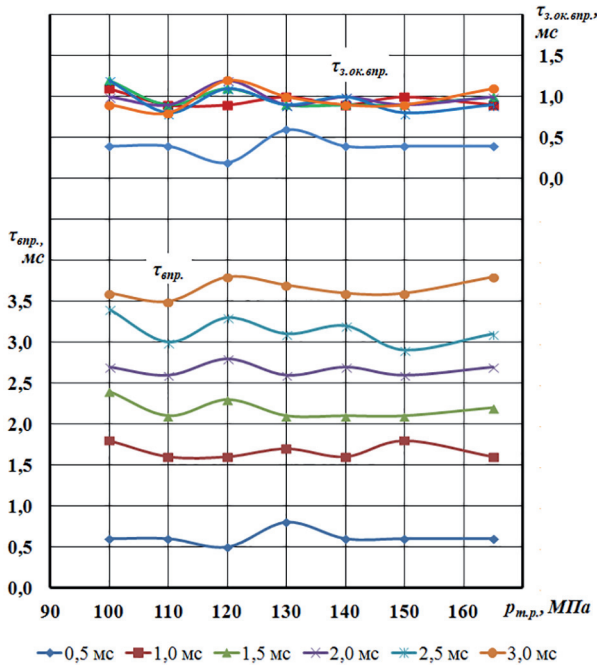


Рис. 5. Зависимость продолжительности впрыска топлива и задержки окончания впрыска от давления топлива в рампе системы *Common Rail* при различных продолжительностях электрического импульса управления форсункой

Здесь видно, что задержка окончания впрыска $\tau_{з.ок.впр}$ на всех исследованных режимах (кроме $\tau_{у.впр} = 0,5$ мс) составляла $1,0 \pm 0,2$ мс. При этом продолжительность процесса впрыска топлива практически не зависит от давления топлива в рампе $p_{т.р.}$, но увеличивается пропорционально росту продолжительности электрического импульса управления форсункой $\tau_{у.впр}$ в диапазоне от 1,0 до 3,0 мс. Задержка начала впрыска топлива $\tau_{з.н.впр}$ на всех исследованных режимах оставалась постоянной и составляла около 0,3 мс.

На рис. 7 приведены графики динамики изменения средней длины топливных факелов при продолжительности электрического импульса управления форсункой 1,0 мс и различных давлениях в топливной рампе системы *Common Rail* $p_{т.р.}$ от 100 до 165 МПа, построенные по результатам обработки фотографий. Исследования показали, что на начальном участке впрыска в течение 0,5 мс максимальная скорость движения вершины топливного факела составляла от 35 м/с (при 100 МПа) до 50 м/с (при 165 МПа), затем она в течение 0,8 мс снижалась до 31 м/с и 38 м/с, соответственно. В результате факелы достигали длины 60 мм в среднем через 1,7 мс от начала управляющего импульса.

На photographиях (рис. 4) видно, что видимые контуры топливных факелов неровные,

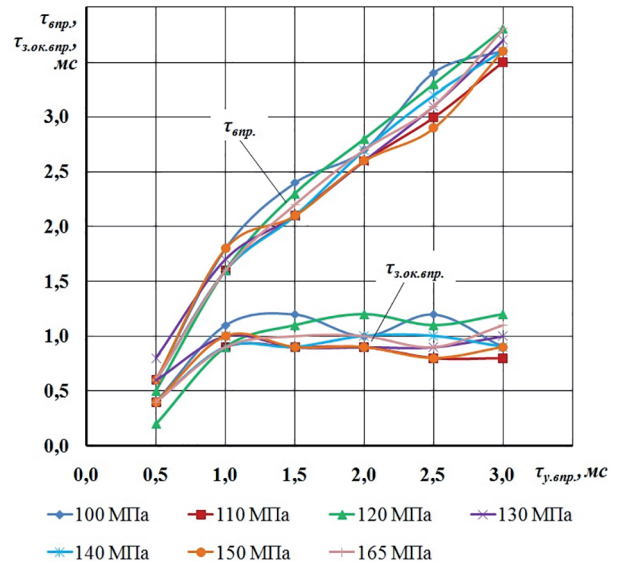


Рис. 6. Зависимость продолжительности впрыска топлива и задержки окончания впрыска от продолжительности электрического импульса управления форсункой при различных давлениях в топливной рампе системы *Common Rail*

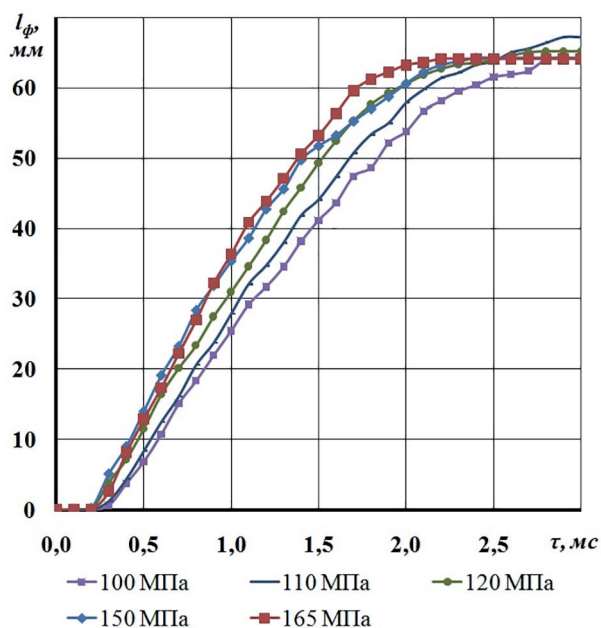


Рис. 7. Динамика изменения средней длины топливных факелов при продолжительности электрического импульса управления форсункой 1,0 мс и различных давлениях в топливной рампе системы Common Rail

имеют местные искривления и существенно отличаются по форме от геометрического конуса. Это вызвано турбулентными потоками на границе соприкосновения топливного факела со сжатым воздухом. Однако в первом приближении форму факела распыленного топлива общепринято представлять в виде конуса. Поэтому определение величины угла конуса топливных факелов осуществлялось по средней линии внешней поверхности без учета флуктуации с исключением головной части факела. Измеренные величины углов конуса топливных факелов для каждого режима испытаний и для каждого факела заносились в таблицы. Анализ результатов измерения показал, что при постоянном давлении в топливной рампе и различных продолжительностях подачи управляющего сигнала на форсунку величины углов конуса факелов практически не изменяются. С увеличением $p_{\text{т.р.}}$ от 100 МПа до 165 МПа углы конусов топливных факелов уменьшаются от $20^\circ \dots 22^\circ$ до $17,5^\circ \dots 18,5^\circ$, то есть в среднем на 15 %.

Заключение

Оборудование уникальной научной установки «Впрыск» позволяет с помощью высокоскоростной видеосъемки зарегистрировать и исследовать влияние регулировочных пара-

метров топливоподающей аппаратуры типа Common Rail (давления впрыскивания топлива, продолжительности электрического импульса управления форсункой) на задержки начала и окончания, а также на продолжительность впрыска топлива, на динамику развития и изменение угла конуса топливных факелов в камере постоянного объема.

Проведенными исследованиями работы электромагнитной форсунки с восьмью распыливающими отверстиями диаметром 0,3 мм при давлениях в топливной рампе системы Common Rail $p_{\text{т.р.}}$ от 100 до 165 МПа и продолжительности электрического импульса управления форсункой $\tau_{\text{упр}}$ от 1,0 до 3,0 мс установлено следующее:

- задержка начала процесса впрыска топлива от момента начала подачи электрического импульса управления форсункой на всех исследованных режимах составила 0,3 мс;
- задержка окончания процесса впрыска топлива от момента окончания подачи электрического импульса управления форсункой на всех исследованных режимах составила около 1,0 мс за исключением режимов с продолжительностью электрического импульса управления форсункой 0,5 мс, на которых она составила 0,4 мс;
- для всех исследованных режимов продолжительность процесса впрыска топлива как правило на 0,7 мс больше продолжительности электрического импульса управления форсункой за исключением режимов с продолжительностью электрического импульса управления форсункой 0,5 мс, на которых она составила 0,1 мс;
- на начальном участке впрыска в течение 0,5 мс максимальная скорость движения вершин топливных факелов составляла от 35 м/с (при 100 МПа) до 50 м/с (при 165 МПа), затем она в течение 0,8 мс снижалась до 31 м/с и 38 м/с, соответственно;
- с увеличением давления в топливной рампе от 100 МПа до 165 МПа углы конусов топливных факелов уменьшаются от $20^\circ \dots 22^\circ$ до $17,5^\circ \dots 18,5^\circ$, то есть в среднем на 15 %.

Результаты таких исследований могут быть применены на стадиях проектирования и доводки дизельных двигателей, при решении задач оптимизации формы камеры сгорания с целью обеспечения качественного процесса смесеобразования в цилиндре двигателя для достижения максимально возможных технико-экономических и экологических показателей.

Представленная работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» при выполнении ПНИ по лоту шифр 2014-14-579-0109 по теме «Исследование и разработка технических решений по созданию энергоэффективных форсированных дизелей специального назначения для наземных транспортных машин». Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0102, уникальный идентификатор RFMEFI57714X0102.

Литература

- Musculus M.P.B., Miles P.C., Pickett L.M. Conceptual models for partially premixed low-temperature diesel combustion // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2013. P. 246–283.
- Seykens X.L.J., Somers L.M.T., Baert R.S.G. Detailed modeling of common rail fuel injection process // *MECCA*. 2005. № 3(2–3). P. 30–39.
- Postriotti L, Buitoni G, Pesce FC, Ciaravino C. Zeuch method-based injection rate analysis of a common-rail system operated with advanced injection strategies // *Fuel*. 2014. Vol. 128. P. 188–198.
- Ульрих С.А., Чертищев В.В., Сеначин П.К. Моделирование геометрических и динамических параметров топливной струи при впрыске в камеру сгорания дизеля на основе эксперимента в бомбе // *Известия ВолгГТУ*. 2013. № 12(115). С. 64–67.
- Еськов А.В., Кирюшин И.И. Использование высокоскоростной цифровой камеры для изучения динамики длины струи распыленного топлива // *Вестник ЮГУ*. 2014. № 2(33). С. 29–31.
- Еськов А.В., Кулманakov С.П., Кирюшин И.И. Динамика яркостных зон топливной струи из видеозаписи // *Известия АлтГУ*. 2015. № 1(85). С. 26–30.
- Brusiani F, Falfari S, Pelloni P. Influence of the Diesel Injector Hole Geometry on the Flow Conditions Emerging from the Nozzle // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 45. P. 749–758.
- Luo X, Wang S, de Jager B, Frank W. Cylinder pressurebased combustion control with multi-pulse fuel injection // *IFAC–Papers OnLine*. 2015. Vol. 48(15). P. 181–186. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.10.026.
- Herfatmanesh MR, Pin Lu, Mohammadreza AA, Hua Zhao. Experimental investigation into the effects of two-stage injection on fuel injection quantity, combustion and emissions in a high-speed optical common rail diesel engine // *Fuel*. 2013. Vol. 109. P. 137–147.
- Klein-Douwel R.J.H., Frijters P.J.M., Somers L.M.T., de Boer W.A., Baert R.S.G. Macroscopic diesel fuel spray shadowgraphy using high speed digital imaging in a high-pressure cell // *Fuel*. 2007. Vol. 86(12–13). P. 1994–2007.
- Wang Z, Xu H, Jiang C, Wyszynski M.L. Experimental study on microscopic and macroscopic characteristics of diesel spray with split injection // *Fuel*. 2016. Vol. 174. P. 140–152.
- Eagle W.E., Morris S.B., Wooldridge M.S. High-speed imaging of transient diesel spray behavior during high-pressure injection of a multi-hole fuel injector // *Fuel*. 2014. Vol. 116. P. 299–309.
- Впрыск: уникальная научная установка. Режим доступа: <https://sites.susu.ru/inject/>.

References

- Musculus M.P.B., Miles P.C., Pickett L.M. Conceptual models for partially premixed low-temperature diesel combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2013, pp. 246–283.
- Seykens X.L.J., Somers L.M.T., Baert R.S.G. Detailed modeling of common rail fuel injection process. *MECCA*. 2005. No 3(2–3), pp. 30–39.
- Postriotti L, Buitoni G, Pesce FC, Ciaravino C. Zeuch method-based injection rate analysis of a common-rail system operated with advanced injection strategies. *Fuel*. 2014. Vol. 128, pp. 188–198.
- Ul'rikh S.A., Chertishchev V.V., Senachin P.K. Modeling of geometric and dynamic parameters of a fuel jet during injection into the combustion chamber of a diesel engine based on an experiment in a bomb. *Izvestiya VolgGTU*. 2013. No 12(115), pp. 64–67 (in Russ.).
- Es'kov A.V., Kiryushin I.I. Using a high-speed digital camera to study the dynamics of the length of a jet of atomized fuel. *Vestnik YuGU*. 2014. No 2(33), pp. 29–31 (in Russ.).
- Es'kov A.V., Kulmanakov S.P., Kiryushin I.I. Dynamics of the brightness zones of the fuel jet from the video recording. *Izvestiya AltGU*. 2015. No 1(85), pp. 26–30 (in Russ.).
- Brusiani F, Falfari S, Pelloni P. Influence of the Diesel Injector Hole Geometry on the Flow Conditions Emerging from the Nozzle. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 45, pp. 749–758.
- Luo X, Wang S, de Jager B, Frank W. Cylinder pressurebased combustion control with multi-pulse fuel injection. *IFAC–Papers OnLine*. 2015. Vol. 48(15), pp. 181–186. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.10.026.

9. Herfatmanesh MR, Pin Lu, Mohammadreza AA, Hua Zhao. Experimental investigation into the effects of two-stage injection on fuel injection quantity, combustion and emissions in a high-speed optical common rail diesel engine. *Fuel*. 2013. Vol. 109, pp. 137–147.
10. Klein-Douwel RJH, Frijters PJM, Somers LMT, de Boer WA, Baert RSG. Macroscopic diesel fuel spray shadowgraphy using high speed digital imaging in a high-pressure cell. *Fuel*. 2007. Vol. 86(12–13), pp. 1994–2007.
11. Wang Z, Xu H, Jiang C, Wyszynski ML. Experimental study on microscopic and macroscopic characteristics of diesel spray with split injection. *Fuel*. 2016. Vol. 174, pp. 140–152.
12. Eagle WE, Morris SB, Wooldridge MS. High-speed imaging of transient diesel spray behavior during high-pressure injection of a multi-hole fuel injector. *Fuel*. 2014. Vol. 116, pp. 299–309.
13. Injection: the unique scientific facility (in Russ.). URL: <https://sites.susu.ru/inject/>.

INVESTIGATION OF FUEL INJECTION IN THE COMMON RAIL SYSTEM ON THE UNIQUE SCIENTIFIC FACILITY «INJECTION»

Dr.Eng. **V.G. Kamaltdinov**¹, Dr.Eng. **V.A. Markov**², **I.O. Lysov**¹, Ph.D. **A.E. Popov**¹, **A.E. Smoliy**¹

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

²Bauman MSTU, Moscow, Russia

vkamaltdinov@yandex.ru

A description of the unique scientific facility "Injection" for experimental investigations of the dynamics development of fuel torches under various conditions of injection into a constant-volume chamber is given. The facility is equipped with the Common Rail fuel systems with adjustable fuel pressure, compressed air supply from the cylinder, scavenging of the constant volume chamber, control of the bench, registration of control pulses, and high-speed video recording of processes inside the chamber. With the help of the controller-synchronizer, the moments of the beginning and the end of the electric pulse of the electromagnetic nozzle were controlled, simultaneous video recording of the Photron FASTCAM SA-X2 color high-speed video camera and the recording of oscillograms on a Tektronix TDS-2014C digital oscilloscope. The duration of the control electric pulse of the nozzle was set from 0,5 ms to 3,0 ms. The pressure in the fuel rail was set from 100 MPa to 165 MPa. The actual moments of the beginning and the end of the fuel injection were determined by the results of the video shooting and counted from its start. The delays of the beginning and the end of injection were determined by comparison the results of video-recording with recording the control electric pulses of fuel nozzle on the oscilloscope. The dynamics of the change in the length and angle of the cone of fuel torches were determined by measuring the contours of the visible parts of the fuel torches on the photorecordings. The delays in the beginning and end of fuel injection were practically 0,3 ms and 1,0 ms, respectively, at all the investigated modes. As a result the duration of the fuel injection process as a rule by 0,7 ms exceeded the duration of the control pulse. At the beginning of injection during 0,5 ms the velocity of the vertices motion of the fuel torches was 35...50 m/s, depending on the pressure, then it decreased to 31...38 m/s. It has been established that when the pressure in the fuel rail increases from 100 MPa to 165 MPa, the angles of cones of fuel torches decrease from 20°...22° to 17,5°...18,5°, that is, on average by 15 %.

Keywords: diesel engine, Common Rail, fuel nozzle, fuel injection pressure, video recording, fuel torches.