

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛЕНИЯ ТОПЛИВА ФОРСУНКОЙ НА ОСНОВЕ CALS/ИПИ ТЕХНОЛОГИЙ

*В.В. Бирюк, д.т.н., проф., С.С. Каюков, асп.,
А.В. Белоусов, студ., Р.Э. Галлямов, студ.
Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С.П. Королева*

Обоснована возможность предварительной оценки качества распыления топлива форсункой по результатам моделирования процессов в топливной системе дизеля в специализированном пакете прикладных программ LMS Imagine.Lab AMESim. Предложены инструменты для анализа влияния процессов в топливных системах на качество распыления топлива, инструменты предварительной оценки качества распыления топлива для полного цикла впрыска, а также характеристики, предназначенные для сравнения вариантов систем топливоподачи. Предложена структура и методика построения блока предварительного анализа качества распыления топлива, включаемого в модели систем топливоподачи.

В настоящее время CALS технологии получили широкое распространение в различных отраслях промышленности развитых стран, что способствовало повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции. В России существует метод информационной поддержки изготовления изделий (ИПИ), который успешно применяется в авиации и космонавтике благодаря более высокому уровню компьютеризации и оснащенности этих отраслей [1, 2]. Проектирование изделий ведется по методологиям, которые предпочтительно реализовывать в единой информационной системе. На этапах проектирования и доводки изделий проводятся расчеты параметров протекающих в них. Для этого используются специализированные пакеты прикладных программ (ППП) являющиеся инструментами численного решения задач анализа и синтеза (проверочных и проектировочных расчетов).

Одним из наиболее эффективных ППП исследования систем топливоподачи дизельных ДВС является программный пакет LMS Imagine.Lab AMESim [3], позволяющий рассчитывать процессы взаимодействия механических, гидравлических и электрических подсистем, а также процессы формирования двухфазных потоков топливной смеси. Опыт использования этого



пакета показал, что при исследованиях динамики элементов систем топливоподачи достаточно одномерного моделирования, которое не требует большой длительности расчетов и вычислительных ресурсов.

Для оценки влияния параметров отдельных элементов систем топливоподачи на процессы формирования и горения топливной смеси, методология моделирования LMS Imagine.Lab AMESim предусматривает использование встроенного программного модуля IFP-C3D [4], позволяющего учитывать свойства топлива, состояние среды в цилиндре дизельного двигателя и особенности его конструкции, а также другие особенности процесса топливоподачи. Такой подход обеспечивает высокую достоверность результатов, однако он не удобен при предварительных исследованиях с перебором большого количества расчетных вариантов, поскольку использование IFP-C3D требует более высокого уровня подготовки пользователя и увеличение времени расчетов по сравнению с расчетом динамики системы топливоподачи.

В рамках данной статьи рассмотрены инструменты предварительной оценки влияния параметров в топливной системе дизеля на процессы формирования топливных струй.

При решении некоторых задач для оценки сравниваемых вариантов по критерию качества распыления топлива бывает достаточно графиков расхода. Например, оценка влияния параметров электрогидрофорсунки (ЭГФ) может быть выполнена по величине цикловой подачи и моментам начала и завершения впрыска при одинаковом сигнале управления [5]. Вариант форсунки с большей цикловой подачей при условии равенства задержек моментов начала и конца впрыска относительно моментов начала и окончания сигнала управления является более быстродействующим и, как следствие, более предпочтительным, поскольку заранее известно, что с повышением быстродействия ЭГФ улучшается качество топливоподачи [6]. Однако в большинстве случаев информация о корреляции выходных параметров моделирования с качеством распыления топлива отсутствует, что требует изменения подхода к его прогнозированию.

Предлагаемый подход реализован на трех одномерных моделях топливной форсунки ЯЗДА 33.112010-03 для ДВС КамАЗ-7409.10 (рис. 1), отличающейся длительным циклом и «треугольным» законом при впрыске одинаковой цикловой подачи топлива на вход форсунки. Графики расхода топлива через сопловые отверстия форсунки приведены на рис. 2. Применительно к рассматриваемому примеру, графики расхода (см. рис. 2) являются малоинформативными.

Например, не вполне ясно, является ли режим дробящего впрыска (рис. 2, режим 3–Е), реализуемый при малых подачах (рис. 2, режим 3–В),

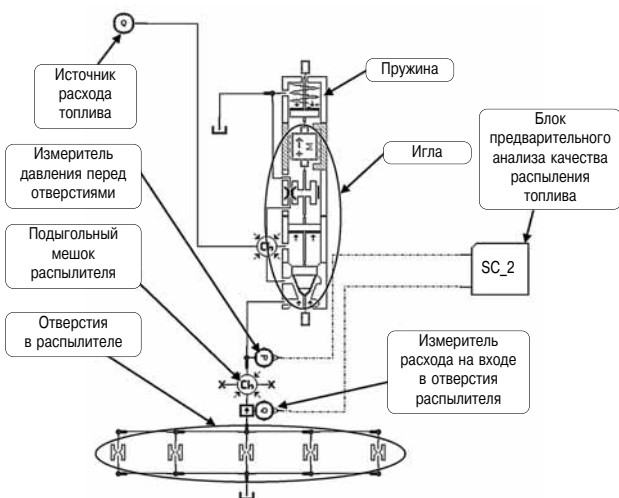


Рис. 1. Модель форсунки ЯЗДА 33.112010-03 с устройством предварительного анализа качества распыления топлива

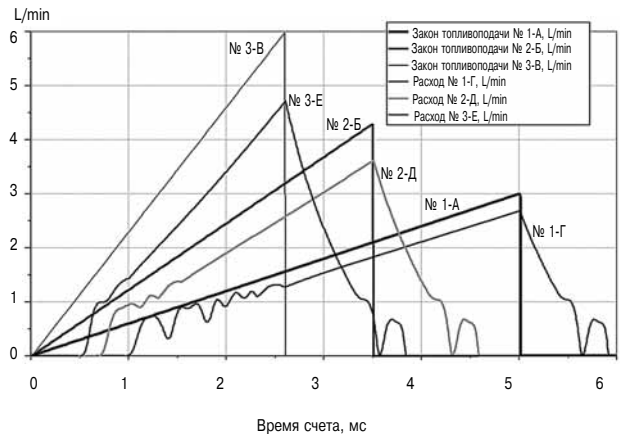


Рис. 2. Результаты расчета динамики форсунки: А–В — законы подачи топлива на входе форсунки; Г–Е — графики расхода топлива через отверстия распылителя

гарантией более высокого качества распыления топлива по сравнению с непрерывным (рис. 2, расход 1–Г), как это известно из ранее проведенных исследований [7]. Кроме того, затруднено сравнение вариантов моделей, отличающихся размерами и количеством отверстий в распылителе, формой и размерами камеры сгорания в поршне, а также другими параметрами.

В качестве одного из инструментов предварительной оценки процесса распыливания топлива предлагается использовать распределение долей цикловой подачи по спектру давлений перед соплами распылителя форсунки. Применительно к рассматриваемому примеру анализ распределения долей цикловых подач (рис. 3) показывает сдвиг спектров в сторону больших давлений по мере снижения продолжительности впрыска, что вполне прогнозируемо приводит к увеличению качества распыления топлива.

При необходимости оценки процесса смесеобразования по критериям возникновения условий для воспламенения топлива в камере сгорания

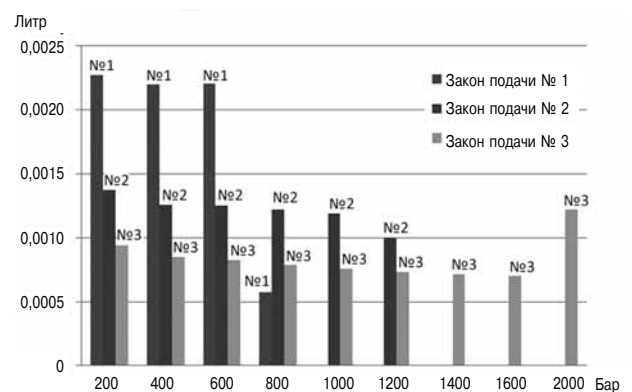


Рис. 3. Распределение объемов цикловых подач впрыснутого топлива по спектру давлений перед отверстиями распылителя форсунки для трех законов топливоподачи

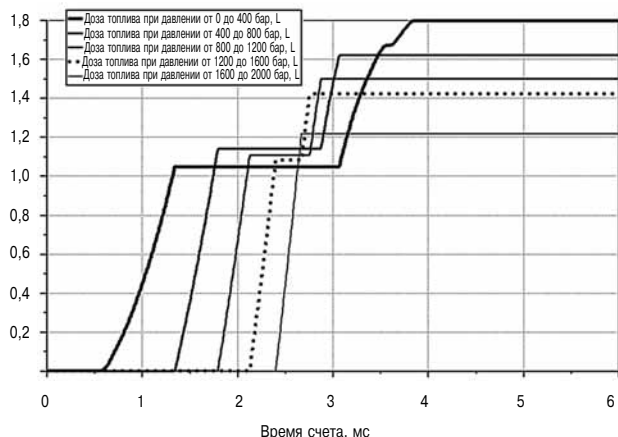


Рис. 4. График нарастания долей спектра цикловых подач при распылении топлива по времени

возможно использование графиков нарастания по времени объемов долей цикловой подачи, распыленных при давлениях выделенных диапазонов спектра (рис. 4).

Анализ такого графика (см. рис. 4) для режима 1–А (см. рис. 2) показывает неблагоприятный для воспламенения характер нарастания долей спектра цикловых подач, поскольку первые порции топлива распыляются в цилиндре под малым давлением. При сравнительных исследованиях вариантов систем топливоподачи критерием предпочтительности может служить опережающий рост долей спектра цикловых подач, соответствующих более высокому давлению.

Преимуществом предложенных графиков распределения цикловой подачи по спектру давлений при нарастании долей спектра цикловых подач является возможность подробного анализа процесса топливоподачи и его особенностей, выделения влияния на него со стороны отдельных элементов системы топливоподачи. Однако эти графики также неудобны при сравнении большого количества вариантов систем, при их многопараметрической оптимизации, а также при определении направлений желательного изменения параметров отдельных элементов систем. При решении задач такого рода требуется инструмент для сравнения, выраженный одним или несколькими числами, что обеспечивает возможность построения необходимых графиков и регрессионных моделей. В качестве одного из таких инструментов предлагается использовать величину среднего давления перед соплами.

Особенностью определения величины среднего давления перед соплами является необходимость учета особенностей режимов дробящего впрыска, при которых игла может не только колебаться, но и садиться на седло, в связи с чем время ненулевого расхода через сопла может не совпадать со временем цикла. Поэтому среднее давление

предлагается вычислять путем деления интеграла функции изменения давления перед соплами на интеграл времени, соответствующему ненулевому расходу через сопла (1):

$$P_{\text{ср}} = \frac{\int p dt}{\int dt}. \quad (1)$$

Особенностью пакета LMS Imagine.Lab AMES-*im* является представление результатов моделирования в виде изменения вычисляемых величин от времени. Поэтому имеется возможность на основе анализа графика изменения среднего давления перед соплами (рис. 5) в качестве характеристик полного цикла впрыска выбрать несколько параметров, которые могут использоваться для сравнения вариантов систем и построения регрессионных моделей, например:

- конечное, или максимальное значения среднего давления перед соплами;
- время достижения максимального значения среднего давления перед соплами.

Построение этих характеристик в зависимости от варьируемых в процессе моделирования параметров расширяет возможности анализа результатов. Применительно к рассматриваемому примеру, графики зависимостей конечного и максимального значений среднего давления перед соплами (рис. 6) от длительности цикла подачи (см. рис. 2) подтверждают известные факты снижения качества распыления топлива при снижении интенсивности впрыска, а также при недостаточно резкой отсечке подачи топлива [6].

В некоторых случаях вместо абсолютных значений среднего давления перед соплами удобно использовать коэффициент полноты цикла в виде отношения среднего давления перед соплами к некоторой заданной величине,

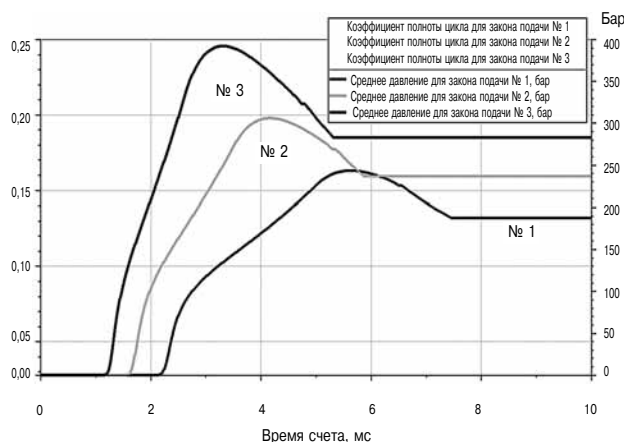


Рис. 5. Графики изменения во времени расчетной величины среднего давления перед соплами форсунки для трех вариантов закона топливоподачи

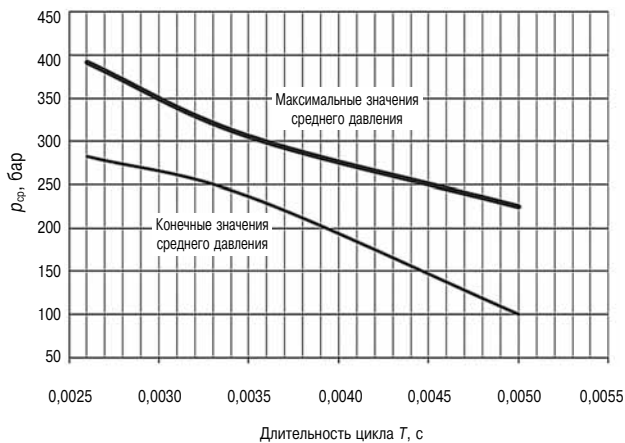


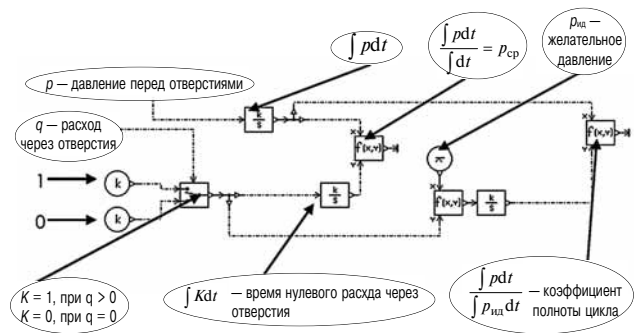
Рис. 6. Изменение конечного и максимального значений среднего давления перед отверстиями распылителя от длительности цикла подачи топлива

например, к давлению, соответствующему наилучшему распылению топлива. Получаемый таким образом график изменения коэффициента полноты цикла повторяет график изменения среднего давления и отличается от него только значениями на оси ординат (см. рис. 5), однако, он является более информативным. Величина коэффициента характеризует степень приближения реального цикла впрыска к «идеальному», при котором вся цикловая подача распыляется при заданном «идеальном» давлении, и для которого значение коэффициента равно 1. При этом коэффициент полноты цикла может характеризовать как полный цикл, так и отдельные его составляющие, например, отдельные фазы многофазного управляемого или неуправляемого дробящего впрыска. Значения коэффициента полноты цикла может изменяться в широких пределах, в том числе может превышать «идеальное» значение, равное 1, что происходит при излишне высоких давлениях перед соплами.

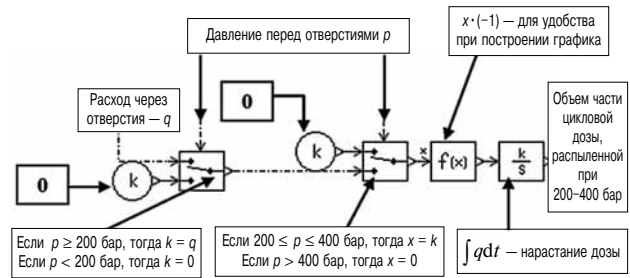
На рис. 7 показан один из вариантов модели блока предварительного анализа качества распыления топлива.

Необходимо учитывать, что предложенные инструменты исследования предназначены только для предварительной оценки качества распыления топлива и не могут заменить собой результатов моделирования физических процессов формирования и горения топливной смеси. В то же время можно полагать, что для каждого конкретного варианта системы топливоподачи между ними существует функциональная взаимосвязь, выявление которой необходимо для существенного ускорения и упрощения работ по созданию новых перспективных систем топливоподачи.

Очевидно, что для решения разнообразных задач моделирования топливных систем могут быть дополнительно предложены другие инструменты



Блок расчета коэффициента наполнения и среднего давления цикла впрыска



Элемент блока анализа распределения долей цикловой подачи по спектру давления (от 200 до 400 бар) перед отверстиями распылителя

Рис. 7. Схема анализатора

исследования, базирующиеся на предлагаемом подходе.

Выводы

1. Показано, что при моделировании систем топливоподачи дизельных ДВС в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim имеется возможность предварительной оценки качества распыления топлива по результатам анализа процессов в этих системах без физического моделирования процессов формирования топливного факела.

2. В качестве инструментов для анализа влияния процессов в топливных системах на качество распыления топлива предложены следующие расчетные характеристики:

- распределение долей цикловой подачи по спектру давлений перед соплами форсунки;
- изменение величин среднего давления перед соплами форсунки и отношение этого давления к заданной желательной величине «идеального» давления, причем указанное отношение — коэффициент наполнения цикла, может считаться предварительной интегральной оценкой степени соответствия качества распыления топлива заданному уровню.

3. В качестве инструментов предварительной оценки качества распыления топлива для полного цикла впрыска и характеристик, предназначенных для сравнения вариантов систем топливоподачи, предложено использовать конечные и максимальные значения среднего давления перед соплами

форсунки, а также коэффициент наполнения цикла.

Литература

1. Маслов А.П. Формирование информационного пространства по созданию силовых модулей на основе CALS/ИПИ технологий / А.П. Маслов // Двигателестроение. — 2013. — № 2. — С. 33–36.
2. Маслов А.П. Как нам преобразовать тракторное двигателестроение / А.П. Маслов, В.В. Бирюк // Двигателестроение. — 2010. — № 4. — С. 35–38.
3. LMS Imagine.Lab / Web-страница: http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/lms/Imagine-Lab/amesim/.

4. LMS Imagine.Lab AMESim. AMESim Rev 13 Tutorial guide, November 2013. — 152 p.

5. Каюков С.С. Одномерное моделирование форсунки Common Rail. В кн.: Методология современной науки: Ч. 2: часть.: тез. докл. междунар. конф. Методология современной науки. — Донецк, 18 апреля 2014. С. 29–32.

6. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. — М.: Изд-во Легион-Автодата, 2004. — 344 с.

7. Николаев А.Г. Повышение топливной экономичности судовых дизелей посредством дробящего впрыскивания: дис. ... канд. техн. наук. Новосиб. инст. инж. водн. транспорта, Новосибирск, 1983.



НОВОСТИ ПЕНЗАДИЗЕЛЬМАШ

СОЗДАН НОВЫЙ ЭКОНОМИЧНЫЙ ТУРБОКОМПРЕССОР ДЛЯ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

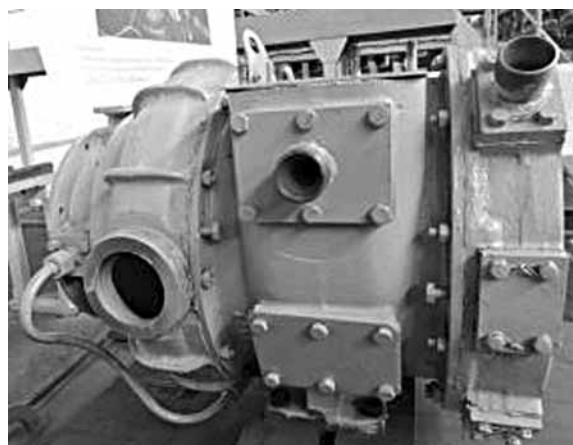
На ОАО «Пензадизельмаш» (ПДМ, входит в состав ЗАО «Трансмашхолдинг») разработан базовый образец турбокомпрессора новой 25-й серии (ТК25-03).

Новый турбокомпрессор предназначен для замены двух турбокомпрессоров TPS48 швейцарского производства, применяемых на высокооборотных дизелях типа 8ЧН21/21 тепловозного назначения. Параметры нового российского турбокомпрессора как минимум на одном уровне с лучшими зарубежными аналогами, а по целому ряду — даже превосходят. При этом новый российский турбокомпрессор существенно дешевле швейцарского аналога.

Внедрение новой разработки позволит исключить зависимость от зарубежных поставок, станет реальным примером импортозамещения в высокотехнологичной области.

Использование нового пензенского турбокомпрессора ТК25-03 способствует улучшению экономичности дизеля. Новая конструкция опорно-упорного подшипника позволяет обеспечить надежную работу ТК25-03 при максимально возможных оборотах в 34 000 об/мин, при том что серийные отечественные турбокомпрессоры аналогичного типоразмера имеют ограничение по этому показателю не выше 30 000 об/мин.

Запас по частоте вращения на контрольном режиме составляет 10 %, что защищает от помпажа и обеспечивает устойчивую работу турбокомпрессора во всем диапазоне работы двигателя.



В ближайшем времени планируется проведение стендовых испытаний на базе ООО «Уральский дизель-моторный завод» (ООО УДМЗ) в составе высокооборотного дизеля 8ЧН21/21, а также в составе маневровых тепловозов ТГМ6Д, ТЭМ9. В дальнейшем на базе ТК 25-03 планируется создание четырех модификаций для всех серийно выпускаемых ООО УДМЗ двигателей мощностью до 1200 кВт.

Конструкция турбокомпрессора полностью адаптирована к технологической и производственной базе предприятия, что дает возможность полного цикла производства турбокомпрессора на ОАО «Пензадизельмаш».

2015-06-22
<http://www.pdmz.ru>