

МЕТОДИКА И ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЛОКАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ

В.Ю. Мащенко, аспирант,

Государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами

Обеспечение высоких экономических и экологических показателей, а также показателей надёжности дизелей является актуальной проблемой энергетики. Решение этой проблемы невозможно без согласования конструктивных параметров топливной аппаратуры (ТА) и камеры сгорания (КС) дизеля. Эффективным средством для снижения стоимости и трудоемкости доводки дизелей является применение математических моделей смесеобразования и сгорания топлива. В настоящее время ощущается острая нехватка моделей, позволяющих решать указанную задачу. Данная работа направлена на восполнение отмеченного пробела.

Обзор публикаций и постановка задачи

Главная особенность развития современной теории ДВС состоит в расширении "локального подхода" при моделировании процессов в цилиндре. Известно, что неравномерность поля локальных параметров рабочего тела существенно влияет на процессы образования продуктов горения топлива, наиболее токсичными из которых являются оксиды азота (NOx). Поэтому при расчёте их эмиссии локальный подход необходим. Важным шагом в этом направлении следует считать уточнение расчёта поля температур в камере сгорания, что даст возможность исследовать влияние, в частности, профиля КС и характеристики впрыскивания топлива на рабочий процесс.

В отечественной практике до настоящего времени широко распространена модель Н.Ф. Разлейцева. Ей в наибольшей мере свойственна направленность на решение практических задач. Однако указанная

модель содержит значительное количество эмпирических величин, ограничивающих её универсальность. Другие современные модели не учитывают важные конструктивные параметры, например форму КС [1].

В практике современного мирового дизелестроения применяются ряд сложных и дорогостоящих программных продуктов (KIVA, Star-CD, FIRE и др.). Однако они требуют задания большого количества трудно определяемых начальных и граничных условий, что осложняет их использование.

Настоящее исследование посвящено разработке теоретически обоснованной методики и соответствующей программы расчёта локальных внутрицилиндровых процессов с учетом влияния конструктивных и регулировочных параметров ТА, КС и заряда цилиндра.

Результаты работы

Комплексная математическая модель топливоподачи и внутрицилиндровых процессов [2], представляющая собой теоретическую основу предлагаемой методики расчёта, включает в себя подмодели локальных процессов распада топливной струи, ее движения и взаимодействия со стенками КС, тепломассообмена, процессов воспламенения и горения [3], образования окиси азота.

В предлагаемой программе реализованы математические подмодели следующих элементарных процессов: топливоподачи, распада струи топлива на капли, развития испаряющейся топливной струи, перемешивания паров топлива с газом, предпламенных реакций, горения и образования NO. В качестве исходных данных требуются параметры

ТА и КС, теплофизические свойства топлива и воздуха в цилиндре, некоторые эмпирические коэффициенты и параметры расчётной сетки. Главными результатами расчёта являются показатели рабочего цикла, индикаторная диаграмма, характеристики тепловыделения, характеристика эмиссии NO_x . В качестве промежуточных результатов выводятся характеристика топливоподачи, поля концентраций и скоростей компонентов рабочего тела, поля температур и давлений. При этом важно отметить, что сопоставление результатов работы программы с экспериментом проведено не только для расчетных индикаторной диаграммы и характеристик тепловыделения, но также и для расчётов промежуточных процессов.

Процесс топливоподачи рассчитывается с использованием известной динамической модели с некоторыми нашими уточнениями. Эти уточнения существенно повлияли на адекватность расчетной характеристики впрыскивания для современных форсированных дизелей, имеющих высокие давления и скорости движения топлива в каналах ТА. Результатом этого расчета является характеристика впрыскивания, которая одновременно используется в качестве исходного данных для расчёта распада и развития топливной струи.

При моделировании распада струи рассчитывается полидисперсное распыливание топлива. Особенность методики состоит в том, что наряду с размером образующейся частицы топлива определяется вектор её начальной скорости.

Подмодель развития топливной струи построена на базе уравнений, описывающих комплекс процессов: продвижение капель, формирование спутного газового потока, взаимодействие двухфазной струи со стенками КС.

Топливная струя отдает часть количества движения окружающему газу, следовательно, инициирует движение газового потока. Этот процесс

моделируется наложением на потенциал потока потенциала плоского диполя.

Газовый поток считается потенциальным. Это допущение дало возможность П.А. Щукину за счет использования метода конформных отображений впервые получить аналитическое решение задачи обтекания реального профиля КС топливной струей.

Конвективный теплообмен при испарении капель топлива моделируется с использованием уравнений Ранца–Маршалла. При этом по методике, составленной В.В. Гавриловым, учитываются температурная и концентрационная неоднородности рабочего тела, а также распределение относительной интенсивности турбулентности.

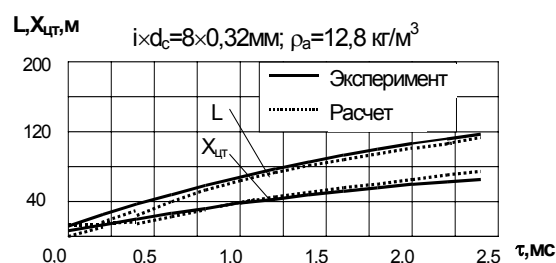


Рис. 1. Характеристика дальнотойности струи и положения центра масс топлива в ней

При моделировании процесса развития топливной струи сравнивались расчетные характеристики дальнотойности, положения центра масс топливной струи, распределения средних скоростей топлива и воздуха в струе с результатами экспериментов, выполненных В.В. Гавриловым. Некоторые из этих данных получены впервые. На рис. 1 представлены соответствующие расчётные и экспериментальные характеристики для топливной аппаратуры дизеля типа ДН23/30. Как видно из рис. 1, координата центра тяжести массы впрыснутого топлива $X_{\text{цт}}$ находится на расстоянии, примерно соответствующем половине дальнотойности струи. Это замечание справедливо для всего времени впрыскивания. Следовательно, предполагаемое некоторыми авторами необратимое накапливание основной массы топлива в головной части струи не подтверждается ни экспериментом, ни расчетом по нашей программе.

Подмодель перемешивания многокомпонентного полифазного рабочего тела базируется на уравнениях конвективного тепломассопереноса для локальных ячеек. При этом в качестве исходных данных для расчета принимается поле скоростей и поля концентраций паровой, жидкой и газовой фаз на момент времени τ , а в качестве результатов расчёта получаются поля концентраций через расчетный интервал времени $\tau + \Delta\tau$.

Модель предпламенных реакций реализована с использованием теоретических разработок [3]. Она учитывает так называемые цепное и тепловое ускорения реакций, а также зависимость их скорости от локальных концентраций реагентов.

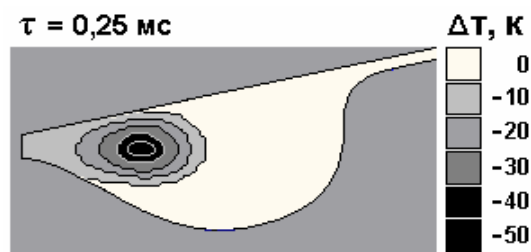


Рис. 2. Расчетное поле температур в КС

На рис. 2 представлено расчётное исследование поля температур газовой фазы в испаряющейся топливной струе дизеля ДН23/30 на момент времени 0,25 мс от начала впрыскивания (ось соплового отверстия направлена горизонтально). Как видно из рис. 2, в центре струи наблюдается снижение температуры. Анализ поля температур для моментов времени, близких к окончанию периода задержки воспламенения, позволяет определить положение очагов пламени.

Горение топлива и эмиссия окислов азота в продуктах сгорания моделируются с использованием кинетических уравнений. Средние по цилиндру параметры (давление, температура, доля выгоревшего топлива, масса образовавшегося NO_x) вычисляются путем интегрирования соответствующих локальных параметров.

При расчетах рабочего процесса дизеля с экспериментом сравнивались расчётные индикаторные диаграммы, характеристики

тепловыделения и индикаторные показатели рабочего процесса. Анализ показал, что отклонения расчетных результатов от экспериментальных лежат в пределах, сопоставимых с погрешностью эксперимента.

Выводы

Разработана методика и создана соответствующая программа расчета цикла дизеля с определением характеристик локальных параметров рабочего тела. Адекватность моделирования элементарных процессов смесеобразования и сгорания, а также промежуточных стадий комплекса процессов подтверждена экспериментами. Использование программы в практике доводки дизелей способствует получению их высоких технико-экономических и экологических показателей.

Литература

1. Голосов А.С. Разработка и экспериментальная проверка метода расчета концентраций оксидов азота в дизелях на основе многозонной модели рабочего процесса: Автореф. дис... канд. техн. наук / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.; 2003. – 16 с.
2. Гаврилов В.В., Щукин П.А., Машенко В.Ю. Совершенствование комплексной математической модели рабочего процесса дизеля с объемным смесеобразованием // Сб. материалов юбилейной. науч.-техн. конф. 20 сентября 2000. – СПб.: ГМТУ, 2000. – С. 10–11.
3. Гаврилов В.В. Кинетика процессов воспламенения и горения топлива в дизеле с объемным смесеобразованием // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.- Харьков: ХАИ, 2002. – Вып. 30. Двигатели и энергоустановки. – С. 43–45.

Поступила в редакцию 12.05.03

Рецензенты: ст. преп. В.А. Плотников, каф. судовых ДВС и дизельных установок, гос. морской технический университет, г. Санкт-Петербург; канд. техн. наук В.Е. Уткин, зам. начальника Инженерного центра ФГУП «Адмиралтейской верфи».