

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СГОРАНИЯ В ДИЗЕЛЯХ

Марченко А.П., Парсаданов И.В.

*Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт», г. Харьков*

Традиционно одним из приоритетных направлений научных исследований кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ») является разработка методов и математических моделей расчета рабочего процесса дизелей. Начало этому направлению положено выдающимися учеными профессорами Цветковым В.Т. и Глаголевым Н.М. и получило дальнейшее развитие в многочисленных трудах их учеников.

Огромный вклад в разработку расчетных методов оптимизации параметров сгорания внес профессор Разлейцев Н.Ф. Рациональное сочетание расчета, основанного на физико-химическом представлении смесеобразования и сгорания, и эксперимента позволило:

- реализовать высокоэффективные рабочие процессы в современных форсированных дизелях;
- выявить закономерности образования в цилиндре двигателя наиболее агрессивных вредных веществ – монооксида азота и сажевых частиц.

Проводимые в настоящее время на кафедре исследования смесеобразования и сгорания в дизелях связаны с учетом микро- и макрораспределения в характерных зонах камеры сгорания (КС): в оболочке и переднем фронте топливной струи (ТС), в пристеночной зоне поверхностей КС, головки и гильзы цилиндра, в зоне контакта соседний ТС у поверхности поршня.

Результатом проведенных исследований стали разработанные расчетные методики согласования характеристик впрыскивания топлива и формы КС для форсированных среднеоборотных дизелей, включающие:

1. Методику расчета движения и распределения элементарных порций капель топлива в струе и КС при свободном развитии струи, ее взаимодействии с вихревым движением заряда и со стенками КС. На основании анализа и обобщения экспериментальных исследований, в том числе данных, полученных профессором Гавриловым В.В. [1] предложены простые аппроксимирующие зависимости для описания динамики движения и распределения массы топлива в струе для различных условий впрыскивания.

2. Методику расчетного профилирования поверхности неразделенных КС и выбора рациональных параметров топливной аппаратуры по критерию выравнивания воздушно-топливного отношения вдоль радиуса цилиндра ($\alpha_R = f(r) \rightarrow const$), что позволяет согласовать распределение топлива в объеме КС за счет характеристик впрыскивания топлива и уточнить форму и размеры отдельных элементов камеры.

3. Уточненные методы расчета испарения и сгорания топлива по кинетическим уравнениям профессора Разлейцева Н.Ф. с учетом микро- и макрораспределения топлива в зонах, отличающихся условиями испарения и выгорания капель представительного размера (d_{32}) в оболочке струи, ее переднем фронте, в пристеночной зоне поршня, у головки и гильзы цилиндра, а также в зоне смыкания соседних струй у стенки поршня (различие условий испарения в этих зонах учтено путем соответствующего задания граничных условий по средней температуре заряда и критерию Нуссельта для процессов диффузии). Уточненные и обобщенные эмпирические зависимости для поправочных коэффициентов кинетических уравнений испарения и горения топлива, обеспечивают качественное и количественное воспроизведение характера динамики тепловыделения в дизелях с диаметром цилиндров 120–360 мм, частотой вращения коленчатого вала 500–2200 мин⁻¹. На рис.1 приведены результаты идентификации по динамике тепловыделения в дизелях типа ЧН26/34 и ЧН32/32.

4. Методику обработки и анализа экспериментальных индикаторных диаграмм для получения характеристик тепловыделения. Для устранения «шума» и ошибок в исходном массиве ординат давлений, применен алгоритм сглаживания, использующий аппарат кубических сплайнов.

5. Разработанный комплекс программного обеспечения с интерактивным оконным интерфейсом, обеспечивающий функционирование вышеуказанных расчетных методов анализа индикаторных диаграмм и позволяющий выполнять компьютерную оптимизацию рабочего процесса дизелей.

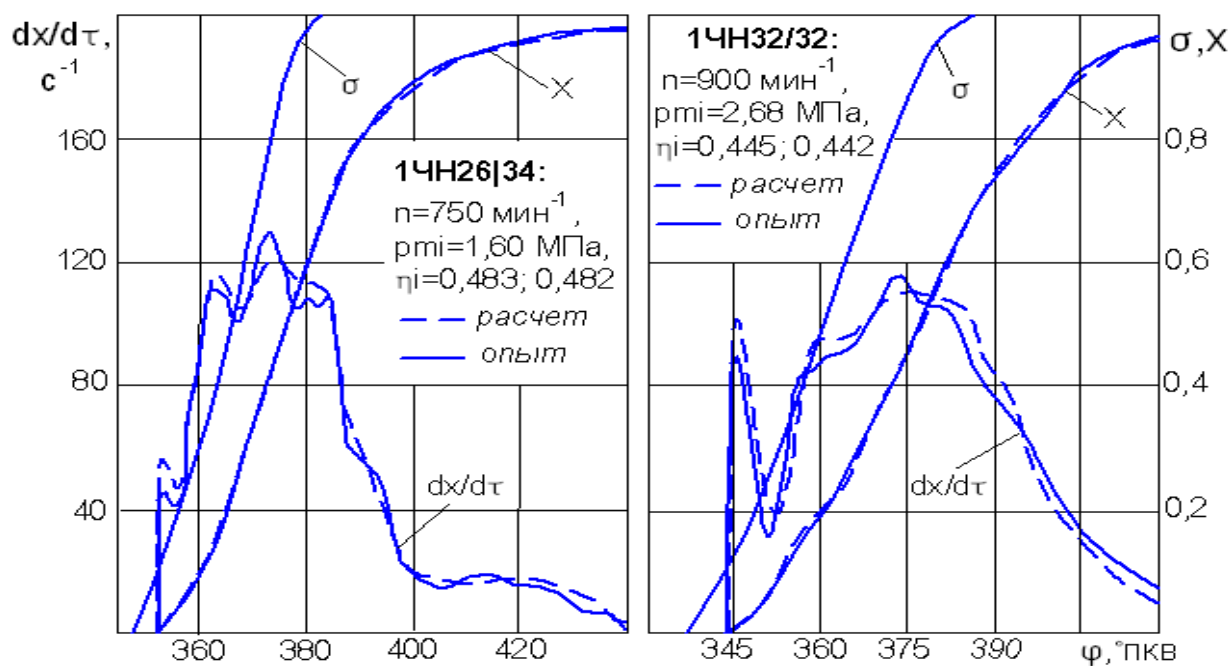


Рис. 1. Результаты идентификации модели расчета тепловыделения в дизелях ЧН26/34 и ЧН32/32

Проведенные исследования по согласованию параметров впрыскивания топлива и формы неразделенной КС подтвердили идеи, заложенные в расчетных методиках [2]. Сравнением расчетных и экспериментальных данных установлена приемлемая для решения практических задач достоверность результатов на каждом этапе математического моделирования (топливоподача, развитие струи испарение и сгорание топлива). Установлено, что модель реагирует на изменения параметров топливной аппаратуры и КС аналогично реальному дизелю. Ошибка расчета удельного эффективного расхода топлива около 0,3%, что не превышает погрешности эксперимента. Уточнение конструктивных и регулировочных параметров топливной аппаратуры и геометрических характеристик КС, обеспечивают снижение эксплуатационного расхода топлива дизелей от 1,5 до 3%.

Известно, что в соответствии с кинетической моделью образования оксидов азота соотносится не с величинами локальных температур и концентраций реагирующих веществ, а непосредственно с динамикой сгорания и другими факторами, определяющими рабочий процесс дизеля. Совершенствование данной модели предусматривает при выполнении расчетов учитывать динамику образования NO по дифференциальным выражениям [3]. В этом случае длительность первого периода сгорания определяется из расчета дифференциальных характеристик тепловыделения. Это позволяет с большей точностью учесть особенности сгорания в цилиндре дизеля, а также чувствительность модели к изменению влияющих факторов, в том числе и к низшей теплоте сгорания (рис. 2) Применение уточненной модели позволило оценить выброс NO при использовании в дизелях различных видов альтернативных топлив растительного происхождения.

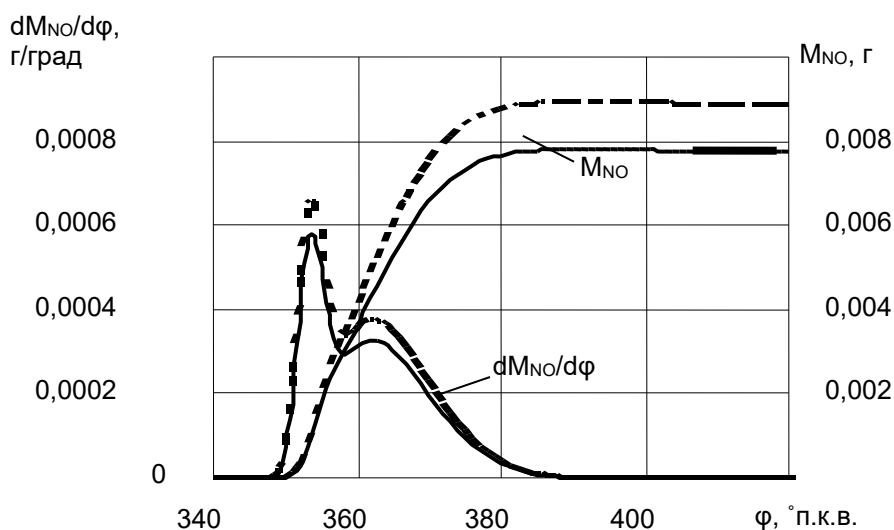


Рис. 2. Уточнение модели образования NO (дизель 6ЧН 12/14, топливо – этиловый эфир рапсового масла, режим работы дизеля: $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 1,13 \text{ МПа}$):
 - расчет по базовой модели; - расчет по уточненной модели;
 - эксперимент.

Для оценки показателей сгорания и токсичности отработавших газов (ОГ) на кафедре двигателей внутреннего сгорания НТУ «ХПИ» применен безразмерный комплексный топливно-экологический критерий. В основу критерия положен средний эксплуатационный эффективный КПД двигателя, который уменьшается с ухудшением экологических качеств двигателя, характеризуемых коэффициентом относительных эксплуатационных экологических затрат

$$\beta = Z_{\text{э}} / Z_{T\text{э}}, \quad (1)$$

где β – коэффициент относительных эксплуатационных экологических затрат, $Z_{\text{э}}$ – затраты на возмещение экологического ущерба от вредного воздействия ОГ двигателя в эксплуатации, $Z_{T\text{э}}$ – суммарные затраты на топливо (Z_T) и возмещение экологического ущерба от вредного воздействия ОГ двигателя в эксплуатации, отнесенные к единице мощности ($Z_{T\text{э}} = Z_T + Z_{\text{э}}$).

Коэффициент β учитывает долю затрат на возмещение экологического ущерба от вредного воздействия на окружающую среду ОГ двигателя в суммарных затратах на топливо и возмещение экологического ущерба с учетом всех представительных фиксированных режимов модели эксплуатации двигателя.

Комплексный топливно-экологический критерий определяется по формуле:

$$K_{T\text{э}} = \eta_{\text{е ср э}} (1 - \beta) \quad (2)$$

$K_{T\text{э}}$ имеет максимальное значение, равное среднему эксплуатационному эффективному КПД при условии отсутствия эксплуатационных экологических затрат, т.е. в том случае, когда в отработавших газах двигателя, поступающих в окружающую среду, будут полностью отсутствовать токсичные компоненты. С увеличением доли экологических затрат, т.е. с ухудшением экологических характеристик двигателя, величина комплексного критерия будет снижаться.

Комплексный критерий учитывает:

- условия эксплуатации двигателя;
- топливную экономичность двигателя в эксплуатации;
- массовый расход вредных веществ, выбрасываемых в окружающую среду с отработавшими газами двигателя в эксплуатации с учетом их агрессивности;
- относительную опасность загрязнения территорий, на которой эксплуатируется двигатель;
- характер рассеивания отработавших газов в атмосфере;
- характеристики применяемого топлива.

K_{73} позволяет оценить качество двигателя при применении его на различных машинах или дать оценку топливно-экологической эффективности различных двигателей при применении на одной и той же машине.

Использование комплексного критерия или при необходимости – коэффициента относительных эксплуатационных экологических затрат позволяет проводить анализ компромиссной ситуации, когда требуется принятие решения о допустимом росте затрат на топливо при условии уменьшения общего уровня топливно-экологических затрат. На основе предлагаемых комплексных оценок с использованием топливно-экологического критерия возможны системный анализ, выбор и научное обоснование путей повышения качества, а значит, и конкурентоспособности дизелей. Примером практического применения критерия служит реализация мероприятий, направленных на повышение конкурентоспособности дизелей 6ЧН 12/14 (СМД-31), и проведенный анализ эффективности применения альтернативных топлив для дизелей в зависимости от их назначения [4].

ВЫВОДЫ

В данной статье дан обзор, проведенных в последние годы кафедрой двигателей внутреннего сгорания НТУ «ХПИ», результатов исследований сгорания в дизелях. Эти исследования направлены на создание расчетных методик для согласования характеристик впрыскивания топлива и формы КС форсированных среднеоборотных дизелей, совершенствование кинетической модели, учитывающей динамику образования NO в цилиндре дизеля по дифференциальным выражениям, а так же на разработку комплексного топливно-экологического критерия.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Гаврилов. Методы повышения качества смесеобразования и сгорания в судовом дизеле на основе математического и физического моделирования локальных внутрицилиндровых процессов / Автореф. дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук.- Санкт-Петербург, 2004.- 43 с.
2. Марченко А.П., Сукачев И.И., Прохоренко А.А. Современные методы расчета тепловыделения и результаты оптимизации перспективных дизелей // Информационные технологии: наука, технология, образование, здоровье: Тр. междунар. науч.-техн. конф. Ч.3- Харьков, Мишкольц, Магдебург.- Издат. Харьк. гос. политехн. университета, 1997.- С. 336-340.
3. Марченко А.П., Прохоренко А.А., Осетров А.А. Моделирование процесса образования оксидов азота в дизеле, работающем на биотопливах // Вестник науки и техники. – Харьков: ООО «ХДНТ», 2005. - №2. – С. 7-10.
4. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. – Харьков: Издат. центр НТУ «ХПИ», 2003.– 244 с.