

М 308648

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

На правах рукописи

Назаров Александр Васильевич

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ
В ДИЗЕЛЕ В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ

(05.04.02 - Тепловые двигатели)

Автореферат
диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических
наук

МОСКВА

1977

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени Высшем техническом училище имени
Н.Э.Баумана.

Научные руководители - доктор технических наук,
профессор ВЬРУГОВ Д.Н.,

- кандидат технических наук,
доцент АЛЕКСЕЕВ В.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор ВОИНОВ А.Н. СИНЯРЁВ Г.Б.

- кандидат технических наук,
от.научный сотрудник КАЛАЧЕВ Л.Д.

Ведущее предприятие - Центральный научно-исследователь-
ский дизельный институт (ЦНИДИ)
г. Ленинград.

Защита состоится " " 1977 г. в часов
на заседании специализированного совета "Тепловые машины и
теоретические основы теплотехники" имени Н.Э.Баумана
(шифр К-33/5 по адресу: Москва, 127005, Лесотехнический наб.,
д.1, корпус факультета "Энергомеханическое").

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
имени Н.Э.

Авт 1977 г.

Отз
печать у
2-я Бауман
совета К-3
Ю7005,
етарю

М 308648

.А.

Зак. 1192

6.1977 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. "Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 год." предусматривают дальнейшее расширение применения дизелей. Перед дизелестроителями поставлена задача создавать двигательные установки, соответствующие мировым стандартам по удельным расходам топлива, удельной мощности, а также по долговечности основных узлов, токсичности выбрасываемых в окружающую среду газов. Рост темпов проектно-конструкторских и доводочных работ требует создания более совершенных методов предварительного определения основных показателей работы двигателя. Эти обстоятельства приводят к необходимости предварительного анализа качества рабочего процесса дизеля, в частности тепловыделения при горении топлива, подаваемого в камеру сгорания. Скорость тепловыделения в дизеле определяет мощностные и экономические показатели, токсичность отработавших газов, шумозлучение, механическую и тепловую напряженность деталей. Актуальность работы объясняется отсутствием методик расчета процесса сгорания горючей смеси, образующейся в цилиндре дизеля за период от момента начала подачи топлива до окончания быстрого повышения давления, с учетом факторов "поджата" заряда, изменения соотношения топлива и окислителя, изменения теплового эффекта в процессе химической реакции, наличия концентрационной неоднородности в факеле и других. Именно начальная фаза сгорания определяет указанные выше показатели работы двигателя.

Широкое применение численных методов расчета обусловлено распространенностью ЭЦМ в промышленности и в научно-исследовательских институтах и делает возможным моделирование сложных физических процессов при сгорании топлива в цилиндре дизеля.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования является создание методики расчета тепловыделения в цилиндре дизеля в начальной фазе, включающей в себя период задержки самовоспламенения и период до окончания быстрого повышения давления, учитывающей основные физические и химические процессы в зоне горения. В диссертации поставлены следующие задачи:

I. Разработка физико-математической модели процесса тепловыделения в начальной фазе на базе теории теплового взрыва паров топлива.

2. Разработка методики расчета с применением ЭЦМ и ее экспериментальная проверка.

3. Проведение расчетного исследования по влиянию различных факторов на процесс тепловыделения в начальной фазе.

4. Анализ применения методики.

Методика выполнения работы. Для проведения расчетно-экспериментального исследования с использованием ЭЦМ "Минск-22" и решения поставленных задач для сохранения условий однозначности использовались данные, полученные обработкой экспериментов, проведенных на установках с отсеком тепловозного четырехтактного дизеля ЧН 26/26 и с двухтактной моделью единичных циклов ДН II, 5/14.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в том, что впервые разработана методика расчета характеристик тепловыделения в дизеле в начальной фазе на основе сгорания элементарных объемов топливо-воздушной гомогенной смеси, описываемого уравнениями теплового взрыва. В методике учтены следующие факторы: "поджатие" заряда; изменение соотношения топлива и окислителя; изменение теплоты сгорания по мере сгорания компонентов смеси; динамика впрыска и испарения топлива; характеристики распыливания; распределение паров топлива по факелу.

Разработанная расчетная методика позволяет определить дифференциальные и интегральные характеристики тепловыделения численным решением задачи на ЭЦМ при известных начальных параметрах воздушного заряда в цилиндре и характеристиках подачи топлива.

Практическая ценность. Показано, что тепловыделение в начальной фазе в дизеле с "жестким" рабочим процессом (первый максимум на дифференциальной характеристике) обусловлено быстрыми реакциями окисления паро-воздушной смеси, образующейся в период от начала подачи топлива до окончания быстрого сгорания. Химические реакции в начальной фазе можно описать обобщенными кинетическими зависимостями теории теплового взрыва. Так как тепловыделение в начальной фазе определяет жесткость работы, максимальные силовые нагрузки, шумность, выход токсических окислов азота, разработанная расчетная методика, позволяющая анализировать воздействие различных факторов на характеристики сгорания, может

использоваться при проектировании и доводке дизелей. На основе расчетных данных с достаточной для практики точностью оцениваются скорость нарастания давления и шумоизлучение. Методика дает возможность уже в начальной стадии проектирования двигателя ориентировочно определить содержание окислов азота в отработавших газах.

При создании экспериментальной установки единичных циклов разработаны и созданы: механизм для осуществления одного цикла, включающий в себя переключатель подачи топлива с электромагнитным приводом и тиристорным управлением, первичные измерительные преобразователи (датчики) для записи давления газов в цилиндре в начале сжатия и всего процесса в целом, давления топлива и другие.

Основные положения и результаты работы включены в учебное пособие для студентов МВТУ им. Н.Э.Баумана "Физические основы рабочих процессов в камерах сгорания поршневых двигателей внутреннего сгорания" (авторы В.П.Алексеев, Д.Н.Вырубов). Скоростная киносъемка сгорания в установке единичных циклов использована при создании учебного кинофильма. Результаты и выводы по проделанной работе переданы в Научно-исследовательский институт двигателей.

Апробация работы. Диссертационная работа обсуждена и одобрена на заседании кафедры "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Н.Э.Баумана. По результатам работы сделаны доклады на научно-технических конференциях в МВТУ им. Н.Э.Баумана (1974 и 1975 гг.) по итогам НИР кафедры и проблемной лаборатории МВТУ, на семинарах молодых специалистов (МВТУ, 1974 и 1975 гг.).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 3 печатных работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа содержит 106 страниц основного текста, 39 страниц с иллюстрациями и 11 страниц с оглавлением и списком литературы. Работа состоит из введения и пяти глав. Библиография включает 80 отечественных и 24 иностранных наименований литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность решения задачи и формулируется цель исследования.

Первая глава посвящена обзору и анализу работ, дающих представление о механизме воспламенения и сгорания гомогенных углеводородо-воздушных смесей, а также отечественных и зарубежных теоретических и экспериментальных исследований тепловыделения в начальной фазе в дизеле. Обосновывается выбор теплового механизма воспламенения для описания начальной фазы процесса.

Как известно, процесс воспламенения и сгорания топливо-воздушной смеси до ВМТ определяет параметры жесткости, механической нагруженности, шумности, токсичности выпускных газов двигателей с воспламенением от сжатия. Для расчетов скорости сгорания в дизелях предложен ряд моделей процесса.

Все известные работы можно разделить на две категории. Одни авторы подходят к решению задачи, описывая процесс полуэмпирическими и эмпирическими уравнениями и не рассматривая сущности процесса. Другие авторы рассматривают сгорание на основе физических моделей, но не учитывают ряд важных факторов.

В опубликованных методиках не учитывались распределение топлива в объеме, изменение коэффициента избытка воздуха. Не показано влияние скорости испарения в этот период. Это определяет необходимость решения ряда задач, сформулированных выше.

Во второй главе приводятся зависимости, используемые в построении расчетной модели.

Так как скорость тепловыделения в начальной фазе определяется скоростями химических реакций в зонах смесей с различными коэффициентами избытка воздуха (концентрационная неоднородность в топливном факеле), первым этапом в разработке модели тепловыделения явилось рассмотрение кинетики химических реакций в отдельных элементарных объемах с различными α . На основе закона действующих масс

$$\frac{dC_{a_n}}{dt} = -K_n C_{a_n}^{j_n} C_m^{j_m} e^{-\frac{E}{RT}}$$

и уравнения баланса тепла в сгорающем отдельном объеме с определенным $\alpha_{нач}$ в элементарный промежуток времени

$$M C_p \frac{dT}{d\tau} = \frac{dq_{хим}}{d\tau} + M \frac{RT}{P} \frac{dP}{d\tau}$$

получена система дифференциальных уравнений, описывающая процесс сгорания компонент смеси

$$\begin{cases} \frac{dz_{O_2}}{d\tau} + z_{O_2} \frac{1}{P} \frac{dP}{d\tau} - z_{O_2} \frac{1}{T} \frac{dT}{d\tau} = \\ = \text{const} \left(\frac{T}{T_{нач}} \right)^{0.5} \left(\frac{P}{RT} \right)^{j-1} (1-z_{O_2})^{j_{O_2}} (1-z_m)^{j_m} e^{-\frac{E}{RT}} \\ \frac{dz_m}{d\tau} = \text{const}_1 \left(C_p \frac{dT}{d\tau} - \frac{RT}{P} \frac{dP}{d\tau} \right), \end{cases} \quad (1) \quad (2)$$

где $\text{const} = K_0 (0.2 \alpha_{нач} L_{O_2})^{j_{O_2}-1} (m_m)^{j_m} (\alpha_{нач} L_m \cdot m_m)^{j-1}$; $\text{const}_1 = (\alpha_{нач} L_m \cdot m_m) \cdot (0.2 \alpha_{нач} L_{O_2} H_m(\alpha))^{-1}$;
 C_p, C_m - текущие концентрации кислорода и топлива;
 j, j_{O_2}, j_m - порядки реакции общий, по кислороду, по топливу;
 K_0 - предэкспонент;
 E - энергия активации; $z_{O_2} = m_{O_2,сгор}/m_{O_2,нач}$; $z_m = m_{m,сгор}/m_{m,нач}$;
 $m_{O_2,нач}, m_{O_2,сгор}, m_{m,нач}, m_{m,сгор}$ - начальные и прореагировавшие количества кислорода и топлива;
 C_p - теплоемкость смеси; M - масса смеси.

Коэффициент избытка воздуха в отдельной зоне смеси для

$\alpha_{нач} \geq 1$

$$\alpha = \frac{(1 - z_{O_2}) \alpha_{нач}}{1 - \alpha_{нач} \cdot z_{O_2}}.$$

Энергия, выделявшаяся в начальной фазе, характеризуется следующим выражением

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \int_{\alpha_{min}}^{\infty} \frac{dG}{d\tau} \frac{1}{G} \frac{dG}{d\alpha} z_m H_m(\alpha) d\alpha d\tau, \quad (3)$$

где $\frac{dG}{d\tau}$ - скорость испарения распыленного топлива;
 $\frac{1}{G} \frac{dG}{d\alpha}$ - функция распределения испарившегося топлива;
 z_m - относительное количество прореагировавшего топлива, определяемое по уравнениям (1) и (2);
 H_m - изменяющийся тепловой эффект при сгорании;
 τ_1, τ_2 - пределы интегрирования по времени.

Выражение (3) соответствует следующей модели процесса. Пары топлива, поданного форсункой в камеру сгорания, образуют элементарные объемы смеси с различными коэффициентами избытка воздуха, в которых начинаются химические реакции; эти реакции идут в период задержки самовоспламенения с незначительными скоростями, а после разогрева объема до определенной температуры — со скоростями теплового взрыва.

При разработке модели приняты следующие предпосылки и допущения: 1) химические реакции в зонах начинаются с момента начала подачи топлива; 2) теплообмен зон между собой и окружающим воздушным зарядом из-за минимальных градиентов температуры за τ_i несущественен; 3) теплообмен воспламенившихся зон с окружающим зарядом мал по сравнению с общим количеством тепла из-за малого времени начальной фазы ($4+7^\circ$ п.к.в.); 4) реакции в отдельных зонах идут с переменными α и теплотой сгорания; 5) не учитывается процесс диффузионного сгорания капель из-за небольшой его скорости; 6) начальная температура порции смеси, образовавшейся за элементарный промежуток времени, постоянна по зоне химических реакций; 7) функция распределения паров топлива по факелу постоянна по времени.

В данной работе предпринята первая попытка ввести в расчет функцию распределения паров топлива по зонам с различными коэффициентами избытка воздуха. Функция получена на основе математического рассмотрения цилиндрического факела и сферического облака паров топлива вокруг капли. Если предположить, что концентрация паров меняется по сечению факела и облака линейно, то функция имеет в этих случаях вид:

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{d\alpha} = K \frac{1}{\alpha^2},$$

где $\alpha_{\min} < \alpha < \infty$, K — константа, зависящая от среднего коэффициента избытка воздуха по факелу.

И в случае факела и в случае сферического облака функция не зависит от их размеров и от плотности среды. Анализ функции показал, что при $\alpha_{\min}$ функция распределения имеет максимальное значение, при $\alpha_{\max} \rightarrow \infty$ она асимптотически приближается к нулю. В расчетах для $\alpha_{\max}$ принято определенное значение, при котором интеграл функции отличается от интеграла при $\alpha_{\max} \rightarrow \infty$

не более чем на 5%. В этом случае составы смесей находятся в узком диапазоне, определяемом $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$, которые, в свою очередь, зависят от среднего коэффициента избытка воздуха по факелу.

Полученные исходные выражения послужили основой в разработке алгоритма счета и рабочих программ на алгоритмическом языке ЭЦВМ "Минск-22".

В третьей главе сформулированы задачи экспериментального исследования процесса сгорания в начальной фазе, рассмотрены методика его проведения, схемы экспериментальных установок с отсеком дизеля ЧН 26/26 и единичных циклов, методика обработки экспериментальных данных и оценка погрешностей измерений и их обработки.

При экспериментальном исследовании показатели работы двигателя обрабатывались на ЭЦВМ. На стенде дизеля ЧН 26/26, который работал по нагрузочной характеристике с наддувом 0,16 и 0,25 МПа, с помощью индикатора МАИ-2 получались индикаторные диаграммы, с помощью тензометрических первичных измерительных преобразователей - осциллограммы давлений в топливной системе. Параллельно велась запись отметки ВМТ и времени. Также замерялись эффективная мощность, расход топлива и воздуха.

На установке единичных циклов, расширяющей возможности экспериментального исследования, при помощи осциллографа Н-ИИ5 и тензометрической станции УТС I-BT-I2/35 регистрировались давление газов в цилиндре в начале хода сжатия и процесс в целом, параметры топливоподачи, температура в начале хода сжатия, угол рейки блока переключения сливной форсунки на рабочую, отметка ВМТ. Весовой заряд воздуха находился из уравнения состояния по известным параметрам в начале хода сжатия. Синхронно с осциллографированием через илиминатор в головке модели дизеля проводилась скоростная киносъемка процесса кинокамерой СКС-I М. Экспериментальные характеристики сгорания, полученные при обработке эксперимента на ЭЦВМ, использовались в проверке предложенной методики и в анализе влияния отдельных факторов.

В четвертой главе представлено расчетно-экспериментальное исследование тепловыделения в начальной фазе.

Численный расчет сгорания элементарных объемов различного состава в безразмерных параметрах проведен по выражениям (1) и (2), преобразованным к форме, удобной для решения задачи на ЭЦВМ:

$$\begin{cases} d\varphi = \frac{[d\bar{x}_{O_2} + \bar{x}_{O_2}(\frac{dp}{p} - \frac{dT}{T})] \frac{6n}{const} (\frac{T}{T_{нм}})^{-0.5} (\frac{RT}{p})^{\gamma-1} \frac{E}{RT}}{(1-\bar{x}_{O_2})^{\gamma_{O_2}} (1-\bar{x}_m)^{\gamma_m}} e^{\frac{E}{RT}} \\ d\bar{x}_{O_2} = M \frac{(C_p dT - \frac{RT}{p} dp)}{m_{O_{2нм}} \cdot H_{O_2}(d)}, \end{cases} \quad (4)$$

где $H_{O_2}(d)$ — тепловой эффект при пересчете на кислород. (5)

Для решения системы уравнений (4) и (5) разработаны алгоритмы счета отдельных зон с $\alpha \geq I$, блок-схемы программ, программы. Методом итераций при известных начальных условиях рассчитываются температура, степени сгорания кислорода и топлива к концу каждого интервала времени. Итерация по температуре продолжается до достижения точности счета 1-2%. Для каждого итерационного цикла во временном интервале интегрирования определяются коэффициент избытка воздуха, теплота сгорания, теплоемкость смеси, зависимость между $\bar{x}_{O_2}$ и $\bar{x}_m$. Вычисления сгорания зоны ведутся до достижения 99% выгорания кислорода или топлива (в случае $\alpha > I$ $\bar{x}_m \rightarrow I$, в случае $\alpha < I$ $\bar{x}_{O_2} \rightarrow I$).

Проведенные расчеты показали: 1) время горения смесей с $\alpha_{нм} = 0,7+1,4$ составляет не более 8° п.к.в., что согласуется с экспериментальными данными по сгоранию в дизелях; 2) характер дифференциальных и интегральных характеристик качественно и количественно согласуется с полученными экспериментально; 3) на скорость сгорания значительное влияние оказывают температура и фактор "поджата" заряда — $\frac{1}{p} \frac{dp}{d\varphi}$. Зная количество паров топлива, генерируемых в факеле в единицу времени, функцию распределения топлива по зонам, и рассчитывая процесс сгорания отдельных зон, количество энергии при сгорании данной порции смеси определяется выражением (3):

$$Q_1 = \sum_0^{\varphi} \sum_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} \frac{\Delta G_{нм}}{\Delta \varphi} \chi \frac{1}{\alpha_{нм}^{\gamma}} \bar{x}_m H_m(\alpha) \Delta \alpha \Delta \varphi.$$

Общее количество энергии за период объемной реакции записывается в виде:

$$Q = \sum_0^{\varphi} \sum_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} \frac{\Delta G_{нм}}{\Delta \varphi} \chi \frac{1}{\alpha_{нм}^{\gamma}} \bar{x}_m H_m(\alpha) \Delta \alpha \Delta \varphi +$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{\varphi_k}^{\varphi} \sum_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{\Delta G_{H_2}}{\Delta \varphi} \chi \frac{1}{\alpha_{\text{нач}}^3} Z_m H_m(\alpha) \Delta \alpha \Delta \varphi + \dots \\
& + \sum_{\varphi \cdot \Delta \varphi}^{\varphi} \sum_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{\Delta G_{H_2 + O_2}}{\Delta \varphi} \chi \frac{1}{\alpha_{\text{нач}}^3} Z_m H_m(\alpha) \Delta \alpha \Delta \varphi.
\end{aligned}$$

Скорость тепловыделения рассчитывается из условия

$$\Delta Q = Q_k - Q_{k-1},$$

где Q_k, Q_{k-1} — количество тепла, выделившегося к концам k -ого и $(k-1)$ -ого интервалов времени.

Давление в камере сгорания определяется известными зависимостями. Начальная температура зон, в которых идет реакция окисления определяется из условия, что в факеле увеличивается давление и количество энергии, выделившейся в результате химических реакций за период задержки воспламенения и быстрого сгорания:

$$\frac{1}{T_p} \frac{dT_p}{d\varphi} = \frac{1}{V_p} \frac{dV_k}{d\varphi} + \frac{V_k}{V_p} \frac{1}{kP} \frac{dP}{d\varphi} + \frac{k-1}{k} \frac{1}{P} \frac{dP}{d\varphi} + \frac{k-1}{k} \frac{1}{APV_p} \frac{dQ_w}{d\varphi} \frac{1}{\tau \omega_n},$$

где T_p — температура в зоне факела;
 V_p — средний объем факела;
 V_k — текущий объем камеры сжатия;
 Q_w — потери тепла в стенки;
 P — давление;
 k — показатель адиабаты;
 ω_n — частота вращения коленчатого вала;
 φ — угол поворота кривошипа; τ — время.

Для расчета скорости испарения топлива по методике Д.Н.Вырубова на ЭЦВМ разработана рабочая программа на алгоритмическом языке.

При проведении исследования расчетным способом проведена оценка энергии активации в уравнении (4), а также определена

область допустимых значений коэффициента избытка воздуха в функции распределения топлива в факеле применительно к дизелю ЧН 26/26 и установке единичных циклов. Значение энергии активации в выражениях (4) и (I) определено расчетом на основе имеющихся многочисленных экспериментальных данных по значениям кажущейся энергии активации для дизелей с объемным смесеобразованием по известной зависимости:

$$E_{\text{каж}} = \frac{\ln \tau_{i,j-1} - \ln \tau_{i,j}}{\frac{1}{RT_{\text{нач},j-1}} - \frac{1}{RT_{\text{нач},j}}},$$

где $\tau_{i,j-1}, \tau_{i,j}$ - расчетные периоды задержки самовоспламенения, полученные при начальных температурах $T_{\text{нач},j-1}$ и $T_{\text{нач},j}$.

Периоды задержки самовоспламенения рассчитаны из условия равенства тепловыделения от химических реакций и потерь тепла на прогрев и испарение поданного топлива согласно методике В.П.Алексеева.

При заданных значениях энергии активации получена зависимость $E_{\text{каж}} = f(E_p)$, по которой при известном экспериментальном значении $E_{\text{каж}}$ выбрано число $E_p = 92500$ кДж/кмоль (22000 ккал/кмоль).

Проведенные расчеты показали, что для форсированных дизелей с наддувом (типа ЧН 26/26) функция распределения лежит в зоне коэффициентов избытка воздуха, близких к единице ($\alpha_{\text{min}} = 0,9+1,2$), а для установки единичных циклов с малым наддувом и с большей скоростью испарения топлива (диаметр соплового отверстия форсунки 0,15 мм) функция сдвинута в область обогащенных топливом смесей. Это подтверждает теоретические предпосылки. Из этого следует, что в дизеле ЧН 26/26 основная доля паров сгорает при избытке окислителя при максимальной теплоте сгорания. Подтверждением этому служат большие скорости тепловыделения и нарастания давления. В установке единичных циклов сгорают обогащенные топливом смеси с малыми скоростями и недоиспользованием химической энергии при окислении.

Результаты численного расчета характеристик тепловыделения в начальной фазе по предлагаемой модели, представленные на рис.1, показали хорошую сходимость с экспериментально полученными. Это позволило провести расчетно-экспериментальное исследование по

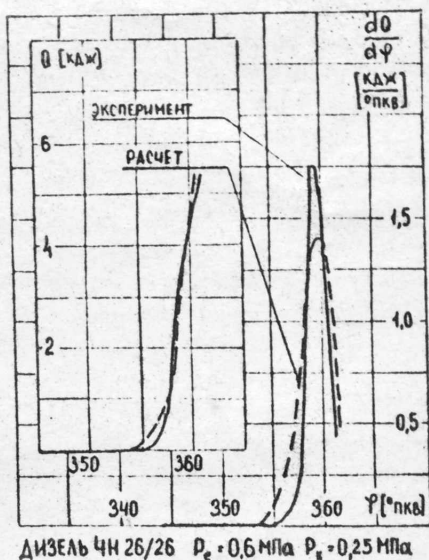


Рис. I

влиянию основных факторов, действующих в цилиндре дизеля. Рассмотрено влияние на характеристики тепловыделения давления и температуры заряда, угла опережения впрыска и также скорости испарения топлива. Показано, что температура и давление заряда воздействуют на кинетику химических реакций в большей степени, нежели на процессы распыливания и испарения, что говорит о преобладании роли химических процессов в начальной фазе. Для сравнительного анализа использовались дизельные топлива "Л" и "ДТ-2".

Расчетное исследование показало, что использование основных положений и зависимостей теплового взрыва для описания тепловыделения в дизеле в начальной фазе позволяет получить удовлетворительные результаты, которые могут использоваться при решении ряда практических задач.

Пятая глава посвящена анализу полученных результатов. Рассчитанные по предлагаемой методике характеристики тепловыделения с достаточной для практики точностью применены для расчета ско-

рости нарастания давления и индикаторной диаграммы в начальной фазе, содержания в отработавших газах "замораживающихся" токсических компонент, в частности окислов азота NO_x , а также шумности работы дизеля.

Из первого закона термодинамики, считая, что быстрое сгорание происходит вблизи ВМТ ($dv/d\varphi \approx 0$), определяется зависимость скорости нарастания давления в начальной фазе, начиная с момента подачи топлива по зависимости

$$\frac{dp}{d\varphi} = \frac{R}{C_v} \frac{d\theta}{d\varphi}.$$

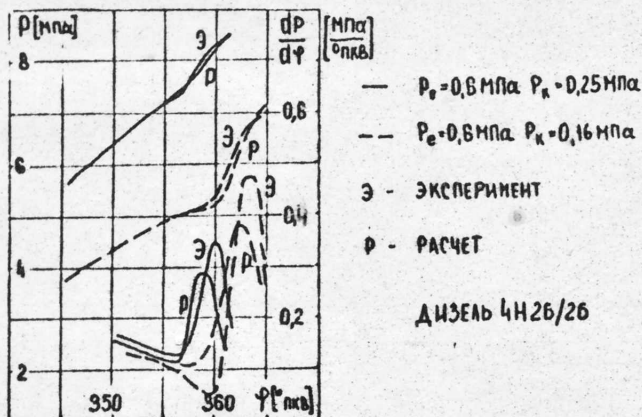


Рис.2.

Кривые $dp/d\varphi = f(\varphi^\circ)$ и $p = f(\varphi^\circ)$, полученные на основе расчетных характеристик тепловыделения, позволяют судить о том, что методику можно применять при исследовании рабочего процесса дизелей с объемным смесеобразованием. Расчетные и экспериментальные индикаторные диаграммы, как показано на рис.2, на рассматриваемом участке в абсолютных значениях имеют различия, не превышающие 8%. При оценке "жесткости" процесса параметр $dp/d\varphi$ может быть рассчитан с максимальной погрешностью, не превышающей 20%.

Предлагаемая методика, позволяющая определить $dp/d\varphi$ по расчетной характеристике тепловыделения, может быть использована в оценке уровня шума дизеля. С помощью когерентной методики Сойберта и Крокера прогнозирования уровня шума на основе данных по скорости нарастания давления в цилиндре дизеля рассчитываются характеристики шумозлучения. На основе этих характеристик определяется аппроксимирующая зависимость максимального уровня шума конкретного дизеля:

$$S_{\text{ш}} = A \left(\frac{dp}{d\varphi} \right)_{\text{max}} + B,$$

где A и B — коэффициенты, определяемые расчетом;
 $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ — максимальная скорость нарастания давления в цилиндре.

Содержание "замораживающихся" при снижении температуры окислов азота определяется из термодинамического расчета по методике Г.Б.Синяева. Исходными данными в термодинамическом расчете являются средняя температура в объеме факела T_f и осредненный состав смеси за период быстрого сгорания. Средняя температура в объеме факела при горении находится из условия

$$T_f = \frac{Q_1}{C_p G_f},$$

где Q_1 — интеграл тепла первой фазы;

C_p и G_f — теплоемкость и масса смеси в объеме факела. Параметры топливного факела определяются по критериальным зависимостям А.С.Лышевского. Проведенные расчеты показывают, что средняя температура в зоне горящего факела при "жесткой" работе дизеля может достигать 2400°K и более (режим работы дизеля ЧН 26/26 при $P_e = 0,6$ МПа и давлении наддува $P_k = 0,16$ МПа). При работе двигателя с расчетным давлением наддува $P_k = 0,25$ МПа дизель работает с меньшими скоростями нарастания давления, так как количество тепла, выделяющегося в начальной фазе вследствие повышения начальной температуры заряда и сокращения T_1 , уменьшается. T_f в этом случае по расчетам не превышает 1600°K . Расчеты показали, что в случае $T_f = 2400^\circ\text{K}$ содержание окиси азота NO для дизеля ЧН 26/26 составляет 11,8 г/э.л.с.час. Норма, предлагаемая Калифорнийским циклом на 1975 г. составляет 4 г/э.л.с.ч. На расчетных режимах при

$P_k = 0,25$ МПа и $T_r = 1600^\circ\text{K}$ выход NO составляет 2,2 г/э.л.с.час. Показано, что дизель ЧН 26/26 на режимах малых нагрузок и х.х. имеет повышенное содержание окислов азота, что требует проведения серьезных поисковых работ.

Изменением термодинамических параметров заряда в допустимых пределах и конструкции топливной аппаратуры можно воздействовать на количество энергии, выделяющейся в начальной фазе, снижать температуру в зоне химических реакций и регулировать в значительной мере выброс NO_x в окружающую среду.

Разработанная методика позволяет более целенаправленно оценивать работу дизеля и намечать рациональные меры по улучшению характеристик дизеля и по оптимизации рабочего процесса в начальный период сгорания.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработанная модель тепловыделения в дизеле в начальной фазе, базирующаяся на теории теплового взрыва паров распыленного топлива, позволяет с достаточной точностью описать процесс в этот период.

2. Расчетное исследование, проведенное по разработанной модели, показало, что методика при использовании ЭЦВМ дает возможность анализировать воздействие основных факторов, действующих в камере сгорания дизеля, на тепловыделение в начальной фазе.

3. Впервые в расчетных зависимостях учтены изменение концентраций топлива и окислителя по мере сгорания компонентов, изменение потерь теплоты сгорания в элементарных объемах смеси, "поджатие" заряда в процессе горения, введена функция распределения топлива по факелу.

4. В начальной фазе процесса тепловыделения в дизеле с объемным смесеобразованием определяющую роль играют химические процессы. Физические процессы (распыливание и испарение топлива) влияют на тепловыделение второстепенным образом.

5. Разработанная методика расчета тепловыделения в начальной фазе позволяет расчетным способом оценивать скорости нарастания давления в цилиндре и максимальные силовые нагрузки на основные рабочие узлы.

6. Методика дает возможность получения расчетным способом исходных данных для расчетной оценки максимального уровня шумоизлучения от сгорания в дизеле.

7. Методика позволяет расчетом определять необходимые исходные параметры, по которым в отработавших газах расчетным путем уже в начальной стадии проектирования дизеля ориентировочно оценивается содержание некоторых токсических компонент, в частности окислов азота.

8. Правильность расчетной методики и ее пригодность к исследованиям рабочего процесса дизелей подтверждена обработкой экспериментальных данных, полученных на установках с отсеком дизеля ЧН 26/26 и единичных циклов.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Алексеев В.П., Воронов Г.Г., Назаров А.В. Период задержки воспламенения жидкого топлива, Известия ВУЗов, "Машиностроение", 1975, № 10.

2. Алексеев В.П., Назаров А.В. О расчете тепловыделения в дизеле, Известия ВУЗов, "Машиностроение", 1976, № 6.

3. Воронов Г.Г., Назаров А.В., Прихедько А.М. Установка для исследования единичных рабочих циклов в дизеле. Известия ВУЗов, "Машиностроение", 1977, № 5.

