М292703

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ПРИХОДЬКО Анатолий Макарович

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ДИЗЕЛЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКОМ

(05.04.02 – Тепловые двигатели)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

МОСКВА 1976

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Алексеев В.П.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, ст. научн. сотр. Басевич В.Я.

кандидат технических наук, ст. научн. сотр. Давыдков Б.Н.

Ведущее предприятие – Союзный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ), г.Москва

Защита состоится "20" сентября 1976 г. в 14 часов на заседании специализированного совета по тепловым машинам и теоретическим основам теплотехники при МВТУ им.Н.Э. Баумана (шифр К-33/5) по адресу: Москва, 107005, Лефортовская наб.,д.1, корп. факультета "Энергомашиностроение".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.Н.Э.Бау

Авт

Отз ный печатью 107005, совета

н Э.А./

Л-10129 ём 1 п.л.

М293703

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы" определены высокие темпы развития энергетического машиностроения. Перед дизелестроительными организациями поставлены задачи коренного усовершенствования выпускаемых дизелей и создания новых типов двигателей, отличающихся высокими эксплуатационными показателями. Рост темпов научно-технического прогресса требует сокращения сроков создания новых двигателей и улучшения существующих, стимулируя разработку и применение новых методов проектирования, исследования и доводки дизелей. Эти обстоятельства приводят к возрастанию роли предварительного анализа рабочего процесса дизелей, в частности процесса сгорания, оказывающего наибольшее влияние на мощностные и экономические характеристики, токсичность, шумность, механическую и тепловую напряженность деталей двигателя. Распространенность ЭЦВМ в НИИ и КБ расширяет возможности моделирования процесса сгорания в дизеле.

Цель и задачи работы. Целью данного исследования является создание методики расчета процесса сгорания в дизеле с непосредственным впрыском топлива, учитывающей динамику впрыска топлива и изменение мелкости его распыливания, на основе закономерностей изменения диаметров капель в процессе диффузионного горения. Соответственно, в диссертации ставились следующие основные задачи:

1. Получить экспериментальные характеристики сгорания, подачи и распыливания топлива, служащие основой для проведения расчетного исследования с помощью ЭЦВМ.

2. Выявление проведением расчетов возможностей опытного задания протекания константы скорости сгорания капель и осреднения спектра диаметров капель топлива условным средним диаметром Заутера d_{32}.

3. Основываясь на результатах экспериментов других авторов с горящими каплями, получить аналитическое выражение для константы скорости сгорания капель при условиях в камере сгорания дизеля и проведением расчетов установить возможное положительное решение цели работы при феноменологическом подходе к

1292703

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1292703
Приходько А.М. Расчетно-эк

учету поступления кислорода в горящий топливный факел.

Методика выполнения исследований. Решение поставленных задач базировалось на обработке результатов экспериментов, проведенных на отсеке 4 Х тактного тепловозного дизеля с наддувом ЧН 26/26, а также на 2 Х тактной модельной экспериментальной установке единичных рабочих циклов (ДН 11,5/14), и проведении расчетов с использованием ЭЦВМ "Минск-22".

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в том, что впервые разработана методика расчета характеристик сгорания в дизеле, с описанием дисперсности распыливания уравнением Розина-Раммлера, доведенная до рабочей программы ЭЦВМ; показана несостоятельность приема осреднения спектра диаметров капель топливного факела средним условным диаметром Заутера и эмпирического подхода к заданию протекания константы скорости сгорания капель топлива при расчете характеристик сгорания по диффузионному механизму; получено аналитическое выражение для вычисления константы скорости сгорания капель топлива при условиях отвечающих области давлений, температур, концентраций кислорода и плотности топливного факела в камере сгорания дизеля с непосредственным впрыском; разработана расчетно-экспериментальная методика, доведенная до рабочей программы ЭЦВМ, расчета характеристик подачи и распыливания топлива форсункой, в которой учитывается изменение эффективного проходного сечения распылителя форсунки $(\mu f)_p$ при данном подъеме иглы от изменения давления в рабочем цилиндре дизеля, а также изменение параметров воздушного заряда и топлива на протяжении впрыска; разработан алгоритм и рабочая программа расчета на ЭЦВМ суммарных параметров распыливания по Розину-Раммлеру n° и d_m°, позволяющая вычислить их для любой части периода впрыска или за весь впрыск топлива форсункой, по известным характеристикам распыливания $n = f_1(\varphi^{\circ})$ и $d_m = f_2(\varphi^{\circ})$.

Практическая ценность. Доказана возможность расчета с удовлетворительной точностью процесса сгорания в дизеле с непосредственным впрыском, когда отсутствует максимум относительной скорости сгорания, вызванный горением топливных паров в смеси с воздухом, образовавшихся за период задержки самовоспламенения τ_i,

МВТУ им. Н. Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

при допущении чисто диффузионного механизма сгорания капель, аналитическом вычислении константы скорости сгорания капель по полученной автором формуле, описанием дисперсности распыливания уравнением Розина-Раммлера и учете накопления топлива в камере сгорания за τ_i, считая капли не изменяющимися до начала горения. Расчетная методика может быть использована при проектировании и доводке дизелей, позволяя анализировать влияние ряда факторов на процесс сгорания.

В процессе создания экспериментальной установки единичных рабочих циклов разработаны и применены механизм единичного впрыска, содержащий переключатель впрыска с электромагнитным приводом и тиристорным управлением, датчик давления в рабочем цилиндре и датчики отметки ВМТ, подъема иглы форсунки и перемещения рейки на основе новых полупроводниковых элементов - фотодиодов.

Результаты работы включаются в учебное пособие для студентов МВТУ "Физические основы рабочих процессов в камерах сгорания поршневых двигателей внутреннего сгорания" (авторы В.П.Алексеев и Д.Н.Вырубов) и возможно будут использованы в учебниках при их переиздании. Фрагменты кинорегистрации процесса сгорания использованы автором для создания учебного кинофильма. Полученные в результате исследования и выполнения методических разработок результаты переданы в заинтересованные организации отрасли.

Апробация работы. Диссертационная работа заслушана, обсуждена и одобрена на заседании кафедры "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им. Баумана. По материалам диссертации сделаны доклады на 8-й (МВТУ, 1974) и 9-й (МВТУ, 1975) ежегодных научно-технических конференциях по итогам НИР кафедры и проблемной лаборатории МВТУ, на семинарах молодых ученых и специалистов (МВТУ, 1974 и 1975) и в НАМИ (1976).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 5 печатных работ и две статьи находятся в печати.

Структура и объём работы. Диссертация содержит 110 стр. основного текста, 36 стр. с иллюстрациями и 12 стр. с оглавлением и списком литературы. Она состоит из введения, пяти глав и заключения. Библиография включает 109 русских и 37 иностранных наименований литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель исследования.

В первой главе дан краткий обзор и анализ литературных источников, содержащих результаты проведения теоретических и экспериментальных исследований процесса сгорания и предложенных методик расчета изменения давления в цилиндре дизеля в процессе горения топлива.

Как известно, построение участка индикаторной диаграммы для процесса горения может быть сделано, если известны характеристики сгорания, под которыми понимаются изменение относительного количества сгоревшего топлива во времени или по углу поворота коленчатого вала (п.к.в.) $x = f(\varphi^\circ)$ – закон сгорания, и протекание относительной скорости сгорания $\Delta x / \Delta \varphi = f'(\varphi^\circ)$. При этом, с достаточной для практики степенью точности, можно считать тождественными закон сгорания и закон относительного тепловыделения в камере сгорания дизеля с непосредственным впрыском.

В работах К.Неймана, Б.М.Гончара, В.А.Кудрявцева, Е.П.Самсонова, И.И.Вибе, Н.Х.Дьяченко и др. предложены математические выражения для аппроксимации закона сгорания $x = f(\varphi^\circ)$. Эти аппроксимации служат целям моделирования процесса сгорания при наличии опытных коэффициентов по дизелям данного класса, находя широкое применение в качестве инструмента для анализа рабочего процесса дизеля.

В работах К.Неймана, Н.В.Иноземцева, Н.М.Глаголева, В.К.Кошкина, Н.Н.Семенова, Н.Ф.Разлейцева приводятся методики расчета сгорания топлива в дизеле, основанные на законах химической кинетики горения газовых смесей. Уравнения, основанные на законах химической кинетики горения газовых смесей, малоприменимы для расчета всего процесса сгорания в дизеле. Критериальные уравнения В.С.Кукиса и Ю.В.Селезнева применимы для расчета процесса сгорания лишь в тех двигателях, на которых проводились исследования с целью получения критериальных уравнений.

В последние годы опубликованы работы в которых процесс сгорания рассчитывается на основе закономерности диффузионного испарения и горения единичных капель топлива, экспериментально установленной Б.Срезневским и теоретически подтвержденной работами

Г.А.Варшавского и Д.Б.Сполдинга

$$d^2 - d_\tau^2 = K\tau , \qquad (I)$$

где d – начальный диаметр капли топлива;

d_τ – текущий диаметр капли;

K – константа скорости испарения капли в процессе диффузионного горения, называемая далее константой скорости горения, не зависящая от диаметра капли;

τ – время.

В работах Лина, Шедлиха, А.М.Павличенко и В.П.Кукова протекание K по времени сгорания определяется через два коэффициента, определяемые в эксперименте на двигателе. Процесс впрыска и сгорания разбивается на элементарные участки во времени. Принимается, что процесс сгорания начинается в момент попадания капель в камеру сгорания. Ги и Карим рассчитывают сгорание топливных паров, образовавшихся за τ_i, по кинетическому уравнению, а остальную долю топлива по уравнению (I). По методике Кука – О.К.Найденко и др. сгорание топлива принимается происходящим после полного испарения капель с константой скорости испарения вычисляемой по эмпирическому выражению в зависимости от давления и температуры окружающей среды. Шипинский и др. рассчитывают сгорание по уравнению (I) с вычислением K по эмпирической формуле, в зависимости от температуры, содержащей два опытных коэффициента и принимается во внимание накопление топлива в камере сгорания за τ_i.

Названная группа работ учитывает динамику подачи топлива. Спектр диаметров капель топлива осредняется на каждом элементарном участке расчета по d_{32}, а в худшем случае принимается d_{32} неизменным на всем протяжении впрыска. Существующие методики расчета процесса сгорания по диффузионному механизму являются опытными, требуя для проведения расчета определения коэффициентов, для вычисления K, на исследуемом двигателе. Изложенные обстоятельства делают необходимым решение задач исследования сформулированных выше.

Вторая глава освещает вопросы методики проведения эксперимента, обработки его результатов, оценки погрешностей измерений и обработки экспериментальных данных, конструкций экспериментальных установок, их вспомогательных устройств и датчиков.

На отсеке дизеля ЧН 26/26(ОД49), при работе по нагрузочной характеристике с давлением наддува 2,5 кгс/см^2, получали одновременно индикаторные диаграммы и осциллограммы топливоподачи, данные

замеров эффективной мощности, расходов топлива и воздуха.

На дизельной исследовательской установке единичных рабочих циклов производилось осциллографирование давления в рабочем цилиндре в начале сжатия и на всём ходе поршня, процесса топливоподачи, температуры рабочего тела в начале сжатия, перемещения рейки переключателя впрыска с холостой на рабочую форсунку. На осциллограммы наносились метки времени и ВМТ. Синхронно с осциллографированием производилась высокоскоростная кинорегистрация процесса впрыска и сгорания кинокамерой СКС-1М через иллюминатор в головке модели дизеля. Весовой заряд воздуха в цилиндре находился из уравнения состояния по измеренным параметрам его в начале сжатия. Цикловая подача топлива находилась взвешиванием на аналитических весах 10-15 порций единичных впрысков, поданных в ловушку через рабочую форсунку после прогрева форсунки и всей установки до рабочей температуры исследуемого режима. Осциллографирование и кинорегистрация производятся после вывода установки на исследуемый режим по оборотам, цикловой подаче и температуре продувочного воздуха автоматически, с помощью разработанной электрической схемы. Тензометрические датчики давления и разработанные автором датчики подъема иглы форсунки, перемещения рейки и отметчика ВМТ на базе фотодиодов работают с универсальными тензостанциями.

Экспериментальные характеристики сгорания $dx/d\varphi = f'(\varphi^\circ)$ и $x = f(\varphi^\circ)$ получали обработкой индикаторных диаграмм на ЭЦВМ по методике Челябинского политехнического института.

Оценка погрешностей регистрации и обработки экспериментальных данных показала, что использованный комплекс измерительной и регистрирующей аппаратуры и методика обработки обеспечили приемлемую точность результатов эксперимента.

В третьей главе рассмотрена методика и результаты расчетно-экспериментального определения характеристик подачи и распыливания топлива форсункой. Под характеристиками подачи подразумеваются относительное количество впрыснутого топлива (закон подачи) и относительная скорость впрыска в каждый момент времени (по углу п.к. в.) $\sigma = f_3(\varphi^\circ)$ и $d\sigma/d\varphi = f_3'(\varphi^\circ)$. Процесс впрыска разбивается на участки, в пределах которых исходные расчетные параметры осредняются, считая их изменяющимися скачком на границах участков. Из условия неразрывности потока топлива:

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varphi} = \frac{(\mu f)_{р.к}\left[2\rho_{tp}(P_т - P_ц)\right]^{0,5} a\,\Delta\tau}{g_ц}, \qquad (2)$$

и $$\sigma = \sum_{i=1}^{b}\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varphi}\right)_i, \qquad (3)$$

где $(\mu f)_{р.к}$ – эффективное проходное сечение распылителя форсунки для данного подъёма иглы, скорректированное с учетом противодавления впрыску по методике И.Д.Васильченко, вычисленное по результатам проливки в атмосферу направляющей с иглой и отъёмного сопла форсунки;

ρ_{tp} – массовая плотность топлива, скорректированная с учетом сжимаемости и средней за впрыск температуры его;

$P_т$ – давление топлива перед распылителем форсунки;

$P_ц$ – давление в рабочем цилиндре двигателя;

a – ускорение силы тяжести;

$g_ц$ – цикловая подача топлива;

$\Delta\tau, b$ – величина и количество интервалов разбиения впрыска по времени, в [illegible]°п.к.в.

Описывая дисперсионный состав факела распыленного топлива уравнением Розина-Раммлера и считая, что на каждом расчетном участке впрыска факел имеет свои значения характеристики размера капель d_m и показателя распределения n, будем называть протекание их изменения по углу п.к.в. $n = f_1(\varphi^\circ)$ и $d_m = f_2(\varphi^\circ)$ характеристиками распыливания. Значение d_m для расчетного участка [illegible]шевского, а n – из находится из критериального уравнения А.С.Л эмпирического уравнения В.Ф.Подгорного:

$$d_m = E\,d_c\,(\rho We)^{c_1}\,Lp^{c_2}, \qquad (4)$$

$$n = 5 - exp\left[0,14\,(P_c - P_ц)^{0,272}\right], \qquad (5)$$

где E, c_1, c_2 – опытные константы, принимаемые по рекомендациям А.С.Лышевского;

ρ – отношение плотностей топлива и рабочего тела в цилиндре;

We, Lp – значения критериев Вебера и Лапласа, найденные с учетом изменения коэффициента поверхностного

натяжения и вязкости с изменением средней температуры топлива за впрыск, и изменения вязкости его с изменением противодавления впрыску, по эмпирическим формулам В.Я.Колупаева и И.Н.Пономарева;

p_c – давление топлива перед сопловыми отверстиями форсунки;

d_c – диаметр соплового отверстия.

Давление p_c вычисляется, при допущении отсутствия изменения эффективного проходного сечения у запорного конуса иглы форсунки $(\mu f)_H$ для данного подъема её при изменении противодавления впрыску p_u, из условия неразрывности потока топлива по известным p_u и $\Delta\sigma/\Delta\varphi$ на данном шаге счета.

Для описания всего периода впрыска или любой его части, например, τ_i, двумя параметрами распыливания по Розину-Раммлеру d_m^σ и n^σ, спектр диаметров капель разбивается на i групп, тогда относительная доля капель, диаметр которых меньше диаметра i-й группы, в долях единицы:

$$S_i = \sum_{k=1}^{k} \left\{ \Delta\sigma_k \left[1 - \exp\left(- \frac{z}{d_{m_k}} \right)^{n_k} \right] \right\}_{k,i} . \qquad (6)$$

Беря интервал диаметров капель (z_1, z_2) в котором находится значение $S = 0{,}632$, и считая на этом участке зависимость Розина-Раммлера $S = \psi(z)$ прямолинейной, что допустимо для достаточно малого значения интервала (z_1, z_2), находится:

$$d_m^\sigma = \frac{(z_1 - z_2)(0{,}632 - S')}{S'' - S'} + z_1 , \qquad (7)$$

$$n^\sigma = \frac{\ln \ln (1 - S'')^{-1}}{\ln z_2 - \ln z_1} . \qquad (8)$$

В выражениях (6), (7), (8):

z – средний диаметр капель i-й группы;

$d_{m_k}, n_k, \Delta\sigma_k$ – характеристика размера, показатель распределения и относительное количество поданного топлива для k-го интервала впрыска;

S', S'' – значение функции $S = \psi(z)$ на границах интервала диаметров (z_1, z_2).

При вычислении параметров d_m^σ и n^σ для части периода впрыска топлива форсункой предусмотрено приведение значений $\Delta\sigma/\Delta\varphi$ для этого участка впрыска к долям единицы специальным блоком

программы расчета.

Средний диаметр по Заутеру на участке :

$$d_{32} = \frac{d_m}{\Gamma(X)} , \qquad (9)$$

где $\Gamma(X)$ - гамма-функция, при вычислении которой используется библиотечная программа ЭЦВМ "Минск-22";

$X = 1 - n^{-1}$ - значение аргумента.

Характеристики подачи и распыливания, в виде таблицы, печатаются АЦПУ ЭЦВМ "Минск-22".

Сравнение значений g_u вычисленных по перепаду давления топлива на распылителе форсунки как описано выше, с учетом изменения $(\mu f)_p$ с изменением p_u, с данными замеров g_u весовым способом, показало расхождение в пределах 3%. Расчеты мелкости распыливания за весь впрыск дали величины d_m^σ и n^σ, хорошо согласующиеся с экспериментально определёнными ранее на кафедре МВТУ для идентичной топливной аппаратуры дизеля ЧН 26/26 при впрыске в бомбу.

Четвертая глава отведена описанию методики и результатов расчета характеристик сгорания при опытном задании протекания константы скорости сгорания капель топлива $K = f_4(\varphi^\circ)$ с описанием дисперсности распыливания уравнением Розина-Раммлера и при осреднении по d_{32}.

В данной работе процесс сгорания рассматривается протекающим только во времени. Константа скорости сгорания является условной средней величиной, одинаковой для всех капель топлива, участвующих в горении в данный момент. Из априорной информации известно, и результатами кинорегистрации на установке единичных рабочих циклов это подтверждено, что процесс сгорания в дизеле с наддувом и непосредственным впрыском топлива является преимущественно диффузионным.

Диффузионная модель процесса сгорания в дизеле является плодотворной, позволяя объяснить влияние динамики впрыска и изменения мелкости распыливания топлива на скорость тепловыделения.

Протекание $K = f_4(\varphi^\circ)$ при проведении расчетного эксперимента на ЭЦВМ задавалось распределением Вейбулла, записанным в форме уравнения И.И.Вибе :

$$K = K_0\, 6{,}908\,(m+1)\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right) exp\left[-6{,}908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right], \quad (10)$$

где K_0, m, φ_z – изменяемые от опыта к опыту константы.

На основе зависимости (I) получено выражение для расчета закона сгорания :

$$x = \int_0^{\tau_{впр}} \int_0^{\infty} \frac{d\sigma}{d\tau_0}\, n\, \frac{d^{n-1}}{d_m^n}\, exp\left[-\left(\frac{d}{d_m}\right)^n\right]\left\{1 - \left[1 - \frac{K_\tau(\tau - \tau_0)}{d^2}\right]^{3/2}\right\} d(d)\, d\tau_0, \quad (11)$$

где $\tau_{впр}$ – продолжительность впрыска топлива; $K_\tau = f(\tau)$.

Решение (II) производится численным методом на ЭЦВМ с шагом 1^0 п.к.в. по времени. Для k-го участка счета :

$$\left(\frac{\Delta x}{\Delta \varphi}\right)_k = \sum_{j=1}^{b} \sum_{i=1}^{m} \left\{(\delta \Delta\sigma)_j \left(\frac{d\tau_k}{d_0}\right)^3 \left[1 - \left(1 - \frac{K_k \Delta\tau}{d^2_{\tau_k}}\right)^{3/2}\right]\right\}_i, \quad (12)$$

и

$$x_k = \sum_{\ell=1}^{k} \left(\frac{\Delta x}{\Delta \varphi}\right)_\ell, \quad (13)$$

где $(\delta \Delta\sigma)_j$ – относительная масса топлива капель размера заключенного в i-м интервале диаметров от d' до d'' для элементарной дозы топлива $\Delta\sigma$, поданной за j-й участок впрыска или шаг счета $\Delta\tau$,

$$(\delta \Delta\sigma)_j = \Delta\sigma \left\{exp\left[-\left(\frac{d'}{d_{mj}}\right)^{n_j}\right] - exp\left[-\left(\frac{d''}{d_{mj}}\right)^{n_j}\right]\right\};$$

d_0 – начальный диаметр капель i-го интервала диаметров (при их числе m),

$$d_0 = 0{,}5\,(d' + d'');$$

$d\tau_k$ – значение диаметра капель на k-м участке счета во времени (по углу поворота к.в.),

$$d\tau_k = d\tau_{k-1}\left(1 - K_k \Delta\tau\, d\tau_{k-1}^{-2}\right)^{0{,}5};$$

K_k – значение константы скорости горения на k-м участке ;

k – число шагов счета от начала горения до рассматриваемого момента;

n_j, d_{mj} – значения показателя распределения и характеристики размера капель для j-го участка впрыска (при общем их числе b участвующих в горении в данный момент времени).

Оптимальным по затратам машинного времени ЭЦВМ и достигаемой точности оказалось разбиение спектра распыливания на 27 групп диаметров с переменным шагом в 2, 5, и I0 мкм, начиная с I и до I56 мкм.

При осреднении спектра распыливания по d_{32} вычислительные операции с $\delta\Delta\sigma$ в выражении (I2) опущены и все вычисления производятся сразу с элементарной дозой $\Delta\sigma$, соответствующей поданному топливу за I^0 п.к.в.

Проведенная расчетная работа по подбору эмпирической зависимости $K=f_4(\varphi^0)$ показала, рис.I, что найти какой-либо однозначный метод выбора коэффициентов зависимости (I0) невозможно и такой подход вряд ли оправдан, так как для режимов работы дизеля отличных от рассматриваемых невозможно предсказать характер протекания K, что исключает возможность построения индикаторных диаграмм для этих режимов.

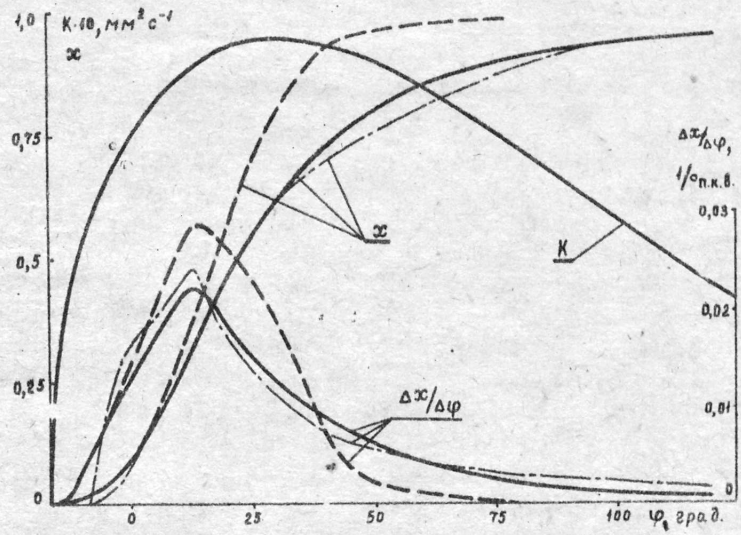


Рис I. Характеристики сгорания для отсека ЧН 26/26 (P_e = I5 кгс/см^2) при задании протекания $K=f_4(\varphi^0)$ в форме распределения Вейбулла, считая сгорание начинающимся в момент попадания капель в камеру сгорания: —·— – эксперимент; — — — – расчет по d_{32}; ——— – расчет по всему спектру распыливания.

Осреднение спектра распыливания по d_{32} сокращает время счёта на ЭЦВМ, по нашим опытам, на порядок, но для процесса горения в дизеле даёт неприемлемые результаты, рис.I, завышая скорость сгорания в начальный период и занижая время сгорания цикловой подачи. Такой результат расчета согласуется с теоретическими исследованиями Р.Проберта, Д.Н.Вырубова, В.Я.Басевича, Я.М.Майера для единовременно поданной порции топлива при $K=const$, $n=\infty$ и $n=3$.

Проведенное расчетное исследование подтвердило предполагаемый характер изменения константы скорости сгорания при диффузионном горении капель топлива по мере развития процесса сгорания в цилиндре дизеля с непосредственным впрыском, дало возможность оценить её величину и показало несостоятельность осреднения спектра распыливания условным диаметром по Заутеру d_{32}.

<u>В пятой главе</u> диссертации построена интерполяционная модель для предсказания величины средней условной константы скорости сгорания капель топлива в условиях камеры сгорания дизеля, изложена методика расчета концентрации кислорода средней по топливному факелу при феноменологическом подходе к учету транспортировки кислорода в факел, приведены результаты расчетов с использованием полученной модели при учете изменения мелкости распыливания в форме уравнения Розина-Раммлера.

Анализ экспериментальных работ по исследованию горения единичных капель, групп капель и монодисперсных топливных факелов для различных значений давления, температуры и концентрации кислорода в окружающей капли среде, а также теоретических работ, показал, что средняя условная константа скорости сгорания капель неподвижных или имеющих малую относительно окружающей среды скорость (диаметр изменяется по зависимости I) может быть выражена, для давления окружающей среды меньшего критического давления топлива $p_{кр}$, зависимостью:

$$K = 1{,}56\,(\tau - 0{,}21) + (1{,}4\cdot 10^{-6}T^2 - 0{,}16)p^{-1/3}\,C\,, \qquad (14)$$

а для области давлений $p > p_{кр}$

$$K = 1{,}56(\tau - 0{,}21) + (1{,}4\cdot 10^{-6}T^2 - 0{,}16)p^{-1/3}\left(\frac{p}{p_{кр}}\right)^{0{,}25} C \quad (15)$$

где K – константа скорости сгорания, $мм^2/с$;

τ – объемная (мольная) относительная концентрация кислорода в окружающей среде ;

T, p – температура и давление окружающей среды, $^{\circ}К$ и $кгс/см^2$;

$p_{кр}$ – критическое давление топлива, $кгс/см^2$;

C – коэффициент, учитывающий влияние соседних горящих капель.

По опытам различных авторов $C = 0{,}42 - 0{,}61$. В.Д.Дульфан корреляционный коэффициент для K, учитывающий влияние соседних горящих капель, принимался из умозрительных соображений равным 0,7. Принимая во внимание, что расстояния между каплями в топливном факеле дизеля малы, для расчетов по (14) и (15) принято $C = 0{,}42$.

При рассмотрении протекания процесса сгорания только во времени в выражения для K подставляются давление и средняя термодинамическая температура в цилиндре. Для расчета концентрации кислорода в зонах горения топливных капель вычисляется средняя концентрация кислорода по факелу распыленного топлива $\tau_ф$ с учетом его израсходования при горении топлива и диффузии кислорода через боковую поверхность факелов. Количество кислорода, диффундирующее в факелы через боковую их поверхность $S_б$, считая развитие факелов законченным к концу периода задержки самовоспламенения:

$$\Delta G = D S_б \frac{\rho_ц - \rho_ф}{y} z \Delta\tau , \quad (16)$$

где $\rho_ц$, $\rho_ф$ – условная массовая концентрация (плотность) кислорода в центрах зон свежего заряда цилиндра и топливного факела, соответственно ;

D – коэффициент пропорциональности, аналогичный коэффициенту диффузии ;

y – расстояние между центрами зон, на расстоянии от оси камеры сгорания равном длине факела ;

z, $\Delta\tau$ – число сопловых отверстий форсунки и шаг счета.

Величина коэффициента пропорциональности D находилась подбором при пробных расчетах таким образом, чтобы к концу такта расширения концентрация кислорода по всему объёму цилиндра $\tau_ц$ была примерно одинаковой (рис.2). Выравнивание концентрации кислорода по объему цилиндра подтверждено экспериментально в ряде работ при стробоскопическом отборе проб газа из различных зон камеры сгорания дизеля.

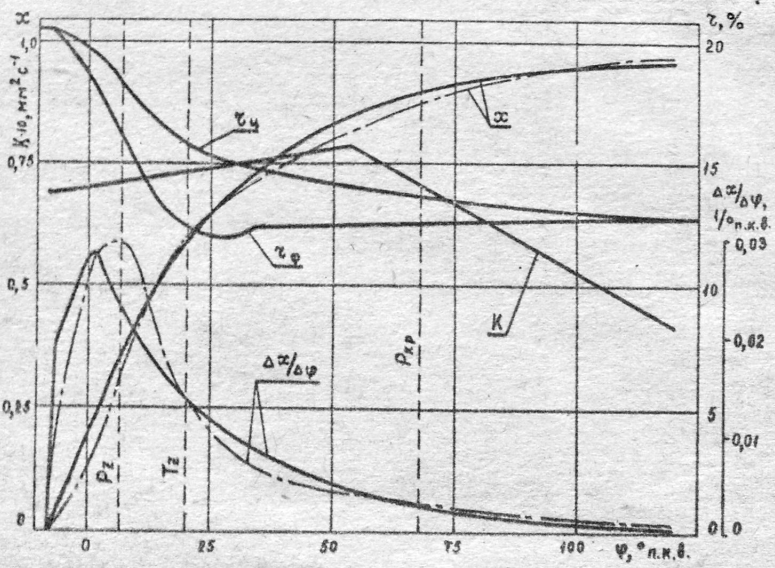


Рис.2. Характеристики сгорания и расчетные средние условия горения для отсека ЧН 26/26 (P_e = 9 кгс/см^2) :
——— - расчет ; ———·——— - эксперимент.

Геометрические характеристики топливного факела рассчитывались по методике А.С.Лышевского, $\rho_{кр}$ находилось по формулам через коэффициент связи критических параметров топлива.

При расчете K для соблюдения условия однозначности величины ρ и T брались по результатам обработки индикаторных диаграмм, расчеты выполнялись по отдельной программе для ЭЦВМ "Минск-22". Расчетная зависимость $K = f_4(\varphi^\circ)$ разбивалась на участки, аппроксимировалась линейно на каждом из них, и в таком виде вводилась в ЭЦВМ для расчета характеристик сгорания. Диаметры капель топливных факелов считались не изменяющимися за τ_i и накапливающимися в камере сгорания до начала горения. Длительность τ_i в $^\circ$п.к.в. вводилась в расчет по результатам эксперимента.

Совпадение расчетных и экспериментальных характеристик сгорания удовлетворительное. Результаты расчетов одного из режимов представлены на рис.2. Построение индикаторных диаграмм отсека ЧН 26/26 в результате решения известного дифференциального уравнения

$$dT/d\varphi = (dq_T/d\varphi - Ap\,dv - dq_w/d\varphi) : c_v , \qquad (17)$$

методом Рунге-Кутта по составленной автором программе показало расхождение с экспериментом по g_i в пределах 10% и по p_z - в 6,5%.

Расчет изменения n и d_m для одной элементарной дозы топлива $\Delta\sigma$ при переменной величине K в процессе горения подтвердил выводы работы Д.Н.Вырубова. Для установки единичных рабочих циклов, при протекании сгорания вблизи $p_{кр}$ и при наличии пика на кривой скорости сгорания от горения смеси топливных паров с воздухом, образовавшейся за τ_i, совпадение характеристик сгорания несколько хуже.

В заключении приведены основные результаты работы и выводы.

1. Получена аналитическая зависимость для константы скорости сгорания капель топлива и феноменологический подход к учету поступления кислорода в зону горения хорошо передает наблюдаемый на опыте характер протекания характеристик сгорания в дизеле с непосредственным впрыском при расчете их по диффузионному механизму и с учетом накопления топлива в камере сгорания за период задержки самовоспламенения.

Методика расчета характеристик сгорания может применяться для дизелей с наддувом для режимов нагружения 50% номинальной мощности и более, когда мало количество смеси топливного пара и воздуха, образовавшейся за период задержки самовоспламенения, и в период сгорания преобладает диффузионный механизм горения.

2. В представленном виде методика расчета характеристик сгорания может считаться полуэмпирической. Объединив разработанные для ЭЦВМ программы расчета константы скорости сгорания и характеристик сгорания топлива и добавив программу расчета периода задержки самовоспламенения и программу расчета параметров состояния газа в цилиндре через характеристики сгорания, можно перейти к полному аналитическому методу построения индикаторной диаграммы.

3. Разработаны методики, доведенные до рабочих программ ЭЦВМ, расчетов характеристик впрыска и распыливания топлива с учетом изменения проходного эффективного сечения распылителя форсунки при изменении противодавления впрыску, параметров состояния газа в рабочем цилиндре и физических параметров топлива на протяжении впрыска, дающие хорошее совпадение с экспериментом.

4. Эмпирический подход при выборе протекания константы скорости сгорания капель топлива не обладает свойством общности и не даёт возможности предсказать характер протекания характеристик сгорания не только в двигателях другого типа, но даже для другого режима работы исследуемого двигателя.

5. Осреднение спектра распыливания топлива средним условным диаметром Заутера не отражает действительный механизм выгорания факела распыленного топлива в дизеле с непосредственным впрыском.

6. Разработаны механизм единичного впрыска с электромагнитным приводом переключателя впрыска, тиристорным управлением и накопительным конденсатором, система автоматического управления регистрацией рабочих параметров модельной экспериментальной установки единичных рабочих циклов и кинокамерой, тензометрический датчик давления в рабочем цилиндре с охлаждаемым чувствительным элементом и хорошими частотными характеристиками и датчики: отметки ВМТ, подъёма иглы форсунки и хода рейки на основе новых полупроводниковых элементов (фотодиодов), работающие в комплексе с обычной тензометрической аппаратурой для исследования дизелей.

Использование разработанных устройств показало их надёжность и высокое качество получаемых экспериментальных материалов, что позволяет рекомендовать их употребление в практике исследовательских работ.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Алексеев В.П., Приходько А.М. Математическое описание диффузионного горения топлива в дизеле. "Известия вузов. Машиностроение", № 10, 1975.

2. Алексеев В.П., Приходько А.М. Расчетное и экспериментальное определение характеристик сгорания топлива в дизеле. "Известия вузов. Машиностроение", № 4, 1976.

3. Приходько А.М. Фотоэлектрический отметчик верхней мёртвой точки двигателей внутреннего сгорания. Инф. листок ДВ ЦНТИ, № 304-74, Владивосток, 1974.

4. Приходько А.М. Датчик для регистрации давления в цилиндре дизеля. Инф. листок ДВ ЦНТИ, № 278-74, Владивосток, 1974.

5. Приходько А.М. Регистрация перемещения рейки топливного насоса. НИИИНФОРМТЯЖМАШ, № 4-76-15, 1976.