М324543

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

Воронов Геннадий Григорьевич

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ В ДИЗЕЛЯХ С ОБЪЕМНЫМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ

/05.04.02 - Тепловые двигатели/

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА 1977

НА
НЕ ВЫД

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

Воронов Геннадий Григорьевич

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ В ДИЗЕЛЯХ С ОБЪЕМНЫМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ

/05.04.02 - Тепловые двигатели/

№ 327543

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1327543
Воронов Г.Г. Расчетно-эксп

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА 1977

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, доцент УАЧИЯН С.А.

Ведущее предприятие – Владимирский тракторный завод им.А.А.Жданова

Защита состоится "10" апреля 1978 г. в 14[00] часов на заседании специализированного совета по тепловым машинам и теоретическим основам теплотехники при МВТУ им.Н.Э.Баумана (шифр К-33/5) по адресу: г.Москва, 107005, Лефортовская наб., д.1, корп.факультета "Энергомашиностроение".

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

Автореферат разослан " " 1978 г.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим высылать по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская, д.5, МВТУ, ученому секретарю совета К-33/5.

Ученый секретарь совета, к.т.н. доцент /Манушин Э.А./

Д 80814. К печ.28.12.77. Тип.МВТУ, тир.100, Объем 1п.л. Зак. 32

МВТУ им. Н.Э. Баумана ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Долговечность, моторесурс, надежность, а также экономичность и эффективность двигателей внутреннего сгорания, и в особенности дизелей, во многом зависят от совершенства рабочего цикла, основой которого является процесс сгорания топлива.

Установлено, что основное влияние на протекание горения и на тепловыделение оказывают процессы, происходящие за период задержки воспламенения (τ_i). Этот период в совокупности с характеристиками подачи топлива, полностью определяет протекание быстрой фазы сгорания. Сокращение периода задержки приводит к уменьшению жесткости работы двигателя, к снижению максимального давления сгорания, что повышает надежность и долговечность двигателя.

В настоящее время, когда рост потребления дизельных топлив требует увеличения их производства, возникает необходимость использования углеводородных топлив различного группового и фракционного состава, что определяет необходимость совершенствования процессов воспламенения и сгорания. Поэтому существенное значение имеет выяснение возможности сокращения периода задержки воспламенения, особенно для условий эксплуатации дизелей в районах Крайнего Севера и Сибири.

Дальнейшее совершенствование рабочего процесса невозможно без детального изучения природы явлений, происходящих в камере сгорания. Особые затруднения вызывает изучение процессов смесеобразования и воспламенения. До настоящего времени не существует достоверной методики расчета длительности периода задержки воспламенения, отражающей действительный ход предпламенных процессов и позволяющей провести количественную оценку параметров воспламенения и их влияние на показатели рабочего процесса.

Это определяет актуальность проведения исследований в данном направлении.

Цель работы. Основной целью данной работы является создание методики расчета длительности периода задержки воспламенения, учитывающей действительный ход предпламенных процессов и важнейшие параметры рабочего процесса, а также особенности режима работы двигателей. Соответственно этому, в работе ставились следующие задачи:

I. Определение значений эффективной энергии активации для различных режимов работы двигателей на основе кинетических особенностей предпламенных процессов;

2. Разработка методики расчета длительности периода задержки воспламенения, учитывающей основные физические и химические процессы, происходящие в цилиндре двигателя;

3. Разработка физико-математической модели процессов воспламенения в камере сгорания дизеля;

4. Проведение расчетного и экспериментального исследований влияния отдельных конструктивных и режимных факторов на τ_i.

Научная новизна. Разработана классификация существующих зависимостей для определения τ_i и выявлена степень их применимости. Впервые предложен метод определения значений эффективной энергии активации для различных условий работы дизеля. Разработана и доведена до рабочей программы ЭЦВМ методика расчета τ_i, учитывающая действительное протекание кинетических /окислительных/, термодинамических /изменение температуры и давления заряда по ходу сжатия - "поджатие"/, физических / впрыск, испарение топлива, неоднородность смеси по составу/ процессов за этот период. Проведен расчетный анализ τ_i по разработанной методике, выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на этот параметр. Разработана новая методика экспериментального исследования влияния отдельных параметров на τ_i. Проведена экспериментальная проверка расчетной методики на опытных установках различных типов.

Практическая ценность: Разработанная методика и программа расчета длительности периода задержки воспламенения, позволяет на стадии проектирования и доводки дизелей моделировать различные сочетания конструктивных и режимных параметров для получения оптимальных эффективных, экономических и динамических показателей работы двигателя.

Результаты методических и экспериментальных разработок используются в учебном процессе кафедры КДВС МВТУ им.Н.Э.Баумана. Фрагменты кинорегистрации процеса воспламенения использованы для создания учебного кинофильма.

Создана новая конструкция датчика подъема иглы форсунки с

высокой частотой собственных колебаний контактного элемента. Предложенный датчик используется в экспериментальных исследованиях ряда НИИ и ВУЗов.

Основные материалы данного исследования переданы в Научно-исследовательский инст тут двигателей.

Апробация работы. Диссертационная работа заслушана, обсуждена и одобрена на заседании кафедры "Комбинированные двигатели внутреннего сгорания" МВТУ им.Н.Э.Баумана. По материалам диссертации сделаны доклады на 8^{й} /1974/, 9^{й} /1975/, 10^{й} /1976/ ежегодных научно-технических конференциях по итогам НИР кафедры .. проблемной лаборатории КДВС МВТУ, на семинарах молодых специалистов МВТУ /1974 и 1975/, на конференции кафедры "Судовые силовые установки" Дальрыбвтуза /1977/.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 4 работы.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения, и содержит 115 страниц основного текста, 27 страниц с иллюстрациями и таблицами, 17 стр.с оглавлением, списком литературы и приложением. Библиография включает 83 советских и 34 иностранных наименований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель исследования.

Первая глава посвящена анализу научно-исследовательских работ, содержащих результаты проведения теоретических и экспериментальных исследований периода задержки воспламенения, обзору и анализу существующих зависимостей по расчету τ_i, отражена роль влияния периода задержки на экономические и эффективные показатели работы двигателя.

До настоящего времени опубликовано более 40 формул и методик расчета τ_i, но ни одна из них в полной мере не отражает действительной картины протекания предпламенных процессов в цилиндре дизеля и не учитывает продолжающегося в период τ_i сжатия заряда, воздействующего на ход предпламенных процессов. Большинство авторов использовали известное уравнение Н.Н.Семенова, подбирая соответствующим образом значение постоянных коэффициентов для описания результатов собственных

исследований. Условия эксперимента, для которых получены эти коэффициенты, естественно, ограничивают применение подобных формул.

Систематизация существующих расчетных формул, представленных в приложении, позволила распределить эти формулы на 6 групп: I/ имеющие вид уравнения Н.Н.Семенова; 2/ с введением дополнительных эмпирических сомножителей в это уравнение; 3/ с разделением периода задержки на физическую и химическую составляющие; 4/ полученные с применением теории подобия и теории размерностей; 5/ описательные, имеющие произвольный вид; 6/ сравнительные, учитывающие изменение условий работы двигателя.

Проведенный расчетный анализ наиболее известных методик показал, что большинство из них учитывают лишь 2-3 параметра, удовлетворительно описывая результаты опытов, в которых они получены. Для других же условий опытов расчеты дают расхождения до 200%; значения констант в большинстве случаев являются необоснованными; при разработке расчетных методик обычно не учитывались процессы топливоподачи и смесеобразования.

Проведен анализ многих экспериментальных работ и выявлена значительная зависимость задержки воспламенения от температуры, давления, угла опережения впрыска топлива, частоты вращения коленчатого вала двигателя, степени сжатия. Однако количественную оценку влияния отдельных факторов на τ_i по результатам этих работ провести нельзя, поскольку часто от опыта к опыту одновременно менялось 2-3 параметра.

Вторая глава посвящена разработке методики расчета τ_i. В основу расчета величины эффективной энергии активации предпламенных процессов /$E_{эфф}$/ положены работы Н.Н.Семенова, В.Н Кондратьева, Н.С.Николояна, А.С.Соколика, В.Я.Штерна, Е.С.Щетинкова.

Парафиновые углеводороды составляют наибольшую часть дизельных топлив и первыми вступают в реакции окисления, как наименее термостабильные, поэтому $E_{эфф}$ определялась для этой группы углеводородов.

Реакция инициирования окисления по Н.Н.Семенову

$$0'' \quad RH + O_2 = RO' + OH' \quad ;$$

с энергией активации этого акта $E_0'' = 170\text{-}190 \frac{кДж}{моль}$.

В условиях последовательных циклов рабочего процесса дизеля в камере сгорания находятся осколки молекул, углеводородные радикалы, атомы водорода, кислорода, которые могут начать окислительные процессы:

$$0'. \quad RH + O^{\cdot} = R^{\cdot} + OH^{\cdot} \qquad /E_0 = 10\text{–}40/$$

В дальнейшем ход окислительных процессов зависит от термодинамического состояния заряда и может осуществляться через реакции:

$$1. \quad R^{\cdot} + O_2 = ROO^{\cdot} \qquad /E_1 = 8\text{–}12/$$

$$2. \quad ROO^{\cdot} + RH = ROOH + R^{\cdot} \qquad /E_2 = 40/$$

$$3. \quad ROO^{\cdot} = R'CHO + R''O \qquad /E_3 = 80/$$

В зависимости от температуры и давления заряда протекание процесса окисления лимитируют реакции либо образования, либо расходования $ROO^{\cdot}$.

В диссертации приводится возможная принципиальная схема предпламенной подготовки топлива, которая завершается тем, что каждый атом углерода образует или конечный продукт сгорания CO_2 или окись углерода CO по реакциям:

$$II. \quad R''CO = R'' + CO \qquad /E_{II} = 17/$$

$$12. \quad R''CO + O_2 = R''COO \qquad /E_{12} = 6/$$

$$13. \quad R''COO \leqq \begin{matrix} R''O + CO_2 \\ R''O_2 + CO \end{matrix} \qquad /E_{13} = 15/$$

Предпламенная подготовка идет до тех пор, пока радикал не деградирует до $H^{\cdot}$. После этого происходит взрывное цепное окисление CO с выделением большого количества тепла по брутто-реакции:

$$2\,CO + O_2 = 2\,CO_2 \qquad /E = 100\text{–}120/$$

Расчет эффективной энергии активации основан на предположении, что $E_{эфф}$ складывается из энергий активации наиболее трудных, лимитирующих актов:

$$E_{эфф} = E_{иниц.} + E_{лимит.} + H_{накопл.CO}$$

При тщательной очистке цилиндра и температуре заряда менее 600 К: $E_{эфф} = E_0'' + E_3 + /E_{II}$ или $E_{13}/ = 240\text{–}280$

В условиях последовательных циклов, когда окисление инициируется активными частицами, находящимися в остаточных газах,

$$E_{эфф.} = E_{o,} + E_3 + /E_{II} \text{ или } E_{I3}/ = 120\text{-}160.$$

При температуре заряда более 600 К, что соответствует обычным условиям работы двигателей, лимитирующей будет реакция продолжения цепи 2 и

$$E_{эфф} = E_{o,} + E_2 + /E_{II} \text{ или } E_{I3}/ = 90\text{-}110$$

Для обычных условий работы дизеля эффективную энергию активации предпламенных процессов можно рассчитать по уравнению

$$E_{эфф.} = 72 + 40 \cdot K_T \ \frac{кдж.}{моль}$$

Здесь коэффициент K_T является характеристикой топлива и зависит от цетанового числа. Для высокоцетановых моторных топлив K_T близко к своему минимальному значению 0,2, а для низкоцетановых ароматических $K_T \approx 1$.

В данной главе предлагается физическая модель протекания предпламенных процессов, которая основывается на следующих предпосылках:

- впрыснутое в цилиндр дизеля топливо нагревается и испаряется, испарившееся топливо образует спектр гомогенных микрозон с различным концентрационным составом горючей смеси;
- в образовавшихся микрозонах мгновенно развиваются химические реакции цепочно-теплового взрыва, в результате чего выделяется тепло;
- теплообмен микрозон с окружающей средой по сравнению с общим количеством тепла считается незначительным из-за малой продолжительности этой стадии процесса /доли милисекунд/;
- период задержки воспламенения рассматривается от момента появления топлива в камере сгорания до момента, когда тепло, выделившееся во всех микрозонах смеси в цилиндре дизеля, компенсирует затраты тепла на прогрев и испарение всего впрыснутого топлива. Этому определению соответствует уравнение:

$$\int_0^{\tau_i} \frac{dQ_{пр}}{d\tau} d\tau = \int_0^{\tau_i} \frac{dQ_{исп}}{d\tau} d\tau$$

На основании предложенной модели разработана методика расчета τ_i. Общее количество теплоты, затраченной на прогрев и испарение топлива /$Q_{исп.}$/, пропорционально количеству испарившегося за время впрыска топлива:

$$dQ_{исп} = \Delta i \cdot dG_{исп}$$

Количество испарившегося топлива рассчитывалось по известной методике Д.Н.Вырубова и оказалось, что $G_{исп}$ достаточно точно описывается степенной зависимостью

$$G_{исп} = K_u \cdot \tau^m$$

где коэффициент испарения K_u и показатель степени испарения m зависят от всех параметров, от которых зависит скорость испарения.

Тогда $Q_{исп} = \Delta i \cdot K_u \cdot \tau_i^m$

здесь Δi – увеличение энтальпии топлива.

Количество тепла, выделившегося в каждой микрозоне смеси, пропорционально количеству вступившего в реакцию топлива

$$dQ_{хр} = \eta_\alpha \cdot q \cdot dG_{исп} = \eta_\alpha \cdot H_\alpha \cdot x \cdot dG_{исп}$$

где q – удельное тепловыделение в зоне, которое определяется тепловым эффектом смеси H_α данного состава и величиной относительного выгорания x в этой зоне,

η_α – доля испарившегося топлива /от общего количества, испарившегося за время $d\tau$ /, образовавшая горючие смеси определенного состава от α_{min} до α_{max}.

Общее количество тепла, выделившегося в результате химических реакций, определяется как сумма тепловыделений во всех зонах

$$Q_{хр} = \int_0^{\tau_i} \int_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} \eta_\alpha \cdot H_\alpha \cdot x \, \frac{dG_{исп}}{d\tau} \, d\alpha \cdot d\tau$$

На основе закона действующих масс

$$-\frac{dC_T}{d\tau} = k_0 \cdot C_T^{\gamma_T} \cdot C_0^{\gamma_0} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot exp\left(-\frac{E_{эфф}}{RT}\right)$$

и уравнения баланса тепла в микрозоне

$$dq = M \cdot C_{pc} \cdot dT - A \cdot V \cdot dP$$

получено уравнение для расчета скорости относительного выгорания в зонах

$$\frac{dx}{d\tau} = k_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\nu} \cdot \eta_{TH}^{\gamma_T - 1} \cdot \eta_{0H}^{\gamma_0} \cdot (1-x)^{\nu} \cdot \left(\frac{P_0 V_0}{R T_0 V}\right)^{\nu} \cdot exp\left(-\frac{E_{эфф}}{RT}\right)$$

Температура заряда по ходу процесса сгорания рассчитывается по уравнению

$$T = T_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^{K-1} \left[1 + \frac{H_\alpha}{M C_{pc} T_0} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \left(\frac{V}{V_0}\right)^{K-1} \frac{dx}{d\varphi} \, d\varphi\right]$$

В этих уравнениях k_o – предэкспонента; C_{pc} – теплоемкость смеси;

$\gamma_o; \gamma_т; \gamma$ – порядок реакций по окислителю; по топливу и общий;

$z_{тн}; z_{он}$ – относительные начальные концентрации топлива и окислителя; $P_o; T_o; V_o$ – начальное давление, температура и объем смеси в зоне реакций; $P; T; V$ – текущие давление; температура и объем; M – масса смеси в микрозоне.

В результате преобразований получено выражение для определения τ_i :

$$\tau_i = \left[\Delta i^{-1} \cdot m \int_0^{\tau_i} \int_{\alpha_{min}}^{\alpha_{max}} z_\alpha \cdot H_\alpha \cdot x \cdot \tau^{m-1} \, d\alpha \, d\tau \right]^{-\frac{1}{m}} \qquad (1)$$

Относительная степень выгорания топлива в зоне определяется по уравнению

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{k_o}{6 n_{дв}} \cdot \sqrt{\frac{P_o z_{он}}{R T_o}} \cdot \left(\frac{V_o}{V} \right)^{0,5K} \cdot (1-x)^{1,5} \exp\left(-\frac{E_{эфф}}{RT} \right) \qquad (2)$$

здесь V_o – объем цилиндра двигателя в момент образования данной микрозоны; V – текущий объем цилиндра.

Показатель степени испарения определяется по полученному эмпирическому выражению

$$m = \frac{0,111}{\sqrt{P_{тср}}} \left(3,65 - 0,0005 \cdot T_{ocp} \right) \cdot \left(3,41 - 0,3 \cdot \sqrt{\frac{f_c}{i_c}} \right)$$

где $P_{тср}$ – давление впрыска топлива среднее за время τ_i ;

T_{ocp} – температура заряда средняя за τ_i ; f_c – суммарная площадь сопловых отверстий форсунки; i_c – число сопловых отверстий.

На основе полученных исходных выражений были разработаны алгоритм и рабочая программа на алгоритмическом языке ЭЦВМ "Минск-22".

В третьей главе приведены результаты расчетного исследования влияния отдельных факторов на τ_i . Численный расчет уравнений I и 2 проводился на ЭЦВМ методом итераций при заданных начальных условиях. Результаты некоторых расчетов показаны на рис.I. Здесь же приведены зависимости τ_i от

исследуемых параметров, рассчитанные по формулам Толстова-2, Ситкея - 3, Вольфера - 4, В.С.Семенова - 5. Изменение параметров $E_{эфф}$, $P_{тср}$, ε, f_c рассмотренными формулами не учитывается и зависимость от этих параметров рассчитана лишь по предлагаемой методике. Результаты анализа показывают, что наибольшее влияние на τ_i оказывают температура заряда в момент впрыска топлива T_θ, "поджатие" заряда, характеризуемое углом опережения впрыска θ, воспламеняемость топлива, от которой зависит $E_{эфф}$. Остальные параметры работы двигателя ε, P_θ, $n_{дв}$ и параметры топливоподачи оказывают меньшее воздействие на τ_i, хотя $P_{тср}$ и f_c входят в показатель степени m.

Расчетный анализ показал, что x является функцией времени

$$x = K_2 \tau_2^n$$

где K_2 и n величины, зависящие от параметров, влияющих на скорость испарения, т.е. от T_0, P_0, τ_0, E, $n_{дв}$, ε, α нач.; $\alpha_{нач}$ - коэффициент избытка воздуха в зоне реакции в момент образования данной зоны τ_0; τ_2 - время существования зоны:

$$\tau_2 = \tau_i - \tau_0$$

После подстановки значения x в уравнение I и преобразований получено уравнение:

$$\tau_i = \left[\Delta i^{-1} \cdot m \cdot \int_0^1 K_2' \cdot z^{m-1} (1-z)^n dz \right]^{-\frac{1}{n}} \qquad (3)$$

где $z = \frac{\tau_0}{\tau_i} = 1\text{-}0$; $m = 1{,}5\text{-}3{,}5$; $n = 4\text{-}12$.

Уравнение 3 позволяет сделать вывод о преобладающем влиянии химических факторов на τ_i и объясняет незначительную зависимость τ_i от параметров топливоподачи.

В данной главе приведен также расчетный анализ влияния длительности периода задержки воспламенения на показатели рабочего процесса двигателя и показано, что при сокращении τ_i, вызывающем снижение эффективных показателей на 10%, может быть получено значительное улучшение динамических пока-

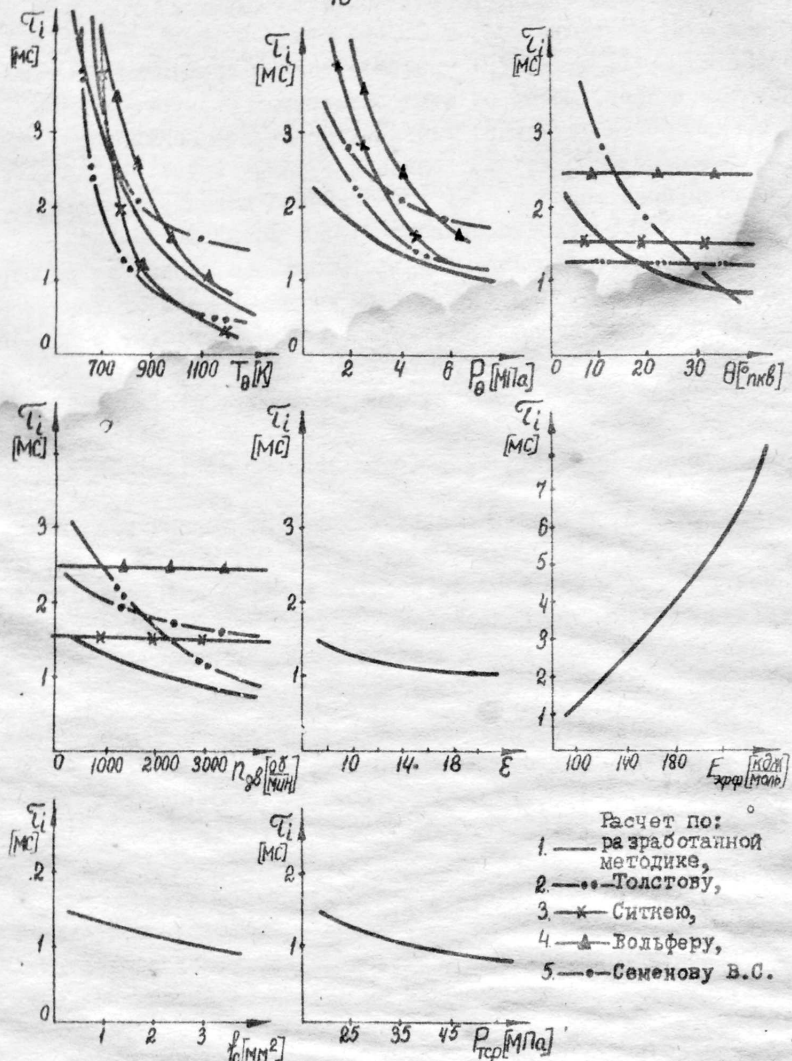


Рис. 1. Результаты расчетного исследования влияния различных факторов на τ_i. Исходные параметры расчета: $T_в$=840 К, $P_в$=4 МПа, $P_{тср}$=30 МПа, $E_{эфф}$=92000 $\frac{кДж}{кмоль}$, $n_{дв}$=1000 $\frac{об}{мин}$, ε=14, θ=15 °до ВМТ, f_c=1,2 мм².

зателей цикла / P_z уменьшается на 20-30%, ($\Delta P/\Delta\varphi)_{cp}$ - на 30-60%/, что создает резерв для повышения степени наддува и увеличения цилиндровой мощности.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию влияния различных факторов на τ_i . Сформулированы задачи экспериментального исследования, разработана методика его проведения, представлены схемы экспериментальных установок, произведена оценка погрешностей измерений, проанализированы результаты эксперимента.

Методика эксперимента разработана с целью получения зависимости τ_i от каждого отдельного параметра /$P, T, \theta, n_{дв}$/.

Регулирование теплового состояния двигателя производилось изменением нагрузки на двигатель. Показателем теплонапряженности с достаточной степенью точности может служить температура отработавших газов - она в каждой серии опытов поддерживалась постоянной.

Из уравнения состояния, записанного для различных режимов, при некоторых допущенных, получены условия регулирования режимных параметров. Для получения экспериментальной зависимости τ_i от давления $\tau_i = f(P)$ выполнялись условия $\theta = const$; $n_{дв} = const$; $P_к/G_{цв} = const$;

- для $\tau_i = f(T)$ - $\theta = const$; $n_{дв} = const$; $T_к\, G_{цв} = const$;
- для $\tau_i = f(\theta)$ - $n_{дв} = const$; $V_\theta/G_{цв} = const$;
- для $\tau_i = f(n_{дв})$ - $\theta = const$; $G_{цв} = const$;

здесь V_θ - объем цилиндра в момент впрыска топлива, $G_{цв}$ - цикловое наполнение цилиндра воздухом.

Экспериментальные исследования по данной методике проводились на двигателе Д-37 м, отсеке двигателя ЧН 26/26 /ОД-49/ дизельной исследовательской установке /ДИУ/ единичных рабочих циклов. Для регистрации угла опережения впрыска на двигателе и на отсеке был сконструирован и изготовлен высокочастотный контактный датчик подъема иглы форсунки, позволяющий наносить на индикаторные диаграммы, снимаемые с помощью индикатора МАИ-2, отметки начала и окончания подачи топлива в цилиндр. Повышение температуры заряда производилось его подо-

гревом, изменение давления - дросселированием на двигателе Д37М и изменением давления наддува на отсеке ОД-49.

Конструктивные особенности установки единичных циклов позволили кроме перечисленных зависимостей получить зависимость τ_i от концентрации кислорода в заряде и от наличия остаточных газов в цилиндре. Результаты экспериментального исследования представлены на рис.2. Синхронно с осциллографированием рабочего цикла, через кварцевое окно в головке цилиндра производились киносъемка скоростной кинокамерой СКС-IM и регистрация светимости пламени фотодиодным датчиком ФД-3. Анализ показал, что момент повышения давления и момент начала видимого свечения в камере сгорания ДИУ практически совпадают. Применение осциллографа Н-II5 и тензометрической станции УТС-ВТ-I2 позволяло производить регистрацию всех необходимых параметров; температуру и давление в начале хода сжатия; рабочую диаграмму каждого цикла; параметры топливоподачи; различные контрольные отметки.

Опыты на ДИУ и на двигателях подтвердили обоснованность метода определения величины $E_{эфф}$ для случаев с наличием отработавших газов в камере сгорания и при их отсутствии, для относительно низких температур / T_θ до 600К в ДИУ/ и высоких температур / T_θ более 700 К в исследованных двигателях/.

Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей от различных факторов позволяет рекомендовать методику для практического использования как в достаточной степени точную и универсальную.

В заключении приведены основные результаты и общие выводы:

I. Проведен анализ существующих зависимостей для определения τ_i и выявлено, что многие из них не учитывают влияния некоторых важнейших факторов и имеют узкие пределы применимости.

2. Предлагается метод расчета эффективной энергии активации для различных условий организации рабочего процесса. Установлено, что наибольшее влияние на величину $E_{эфф}$ оказывает температура воздушного заряда в зоне реакций, наличие активных центров в свежем заряде и воспламеняемость топлива.

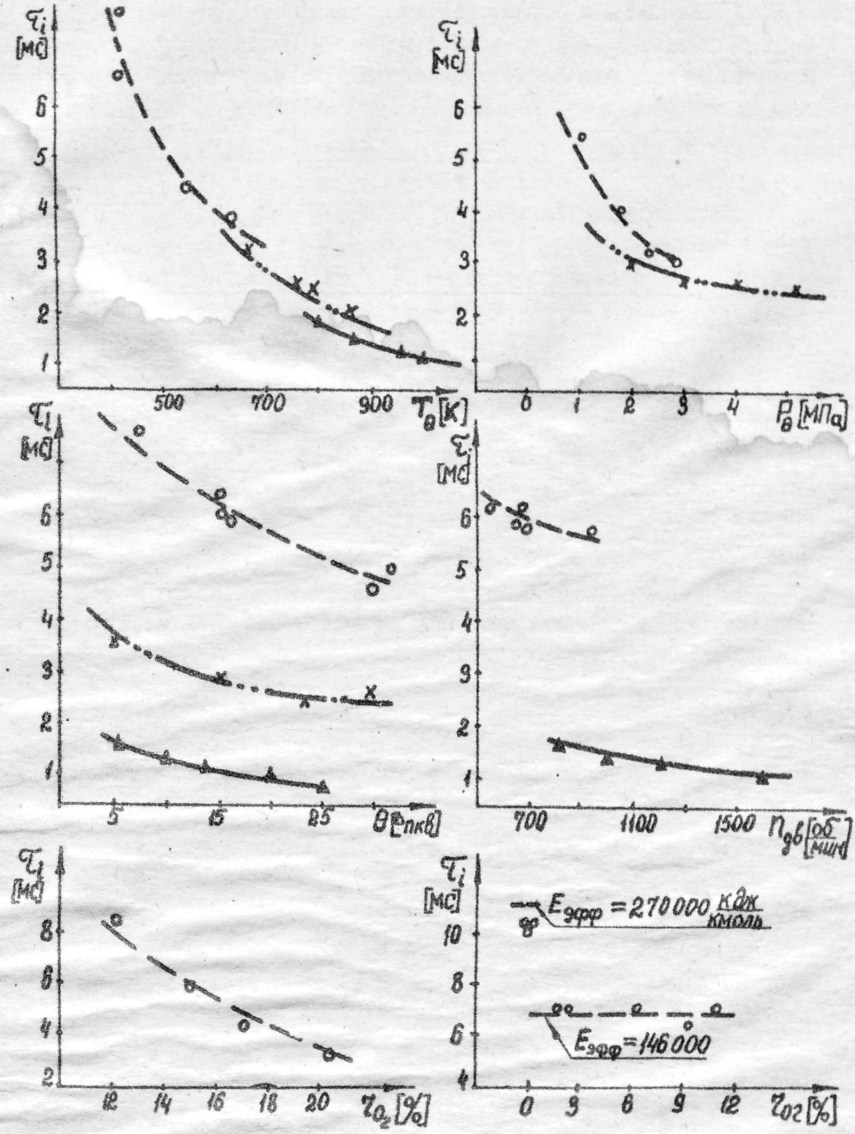


Рис.2. Результаты экспериментального исследования зависимости τ_i от различных условий. Обозначения: ▲ – эксперимент (Д 37М), ——— – расчет (Д 37М), x – эксперимент (ОД-49), —·—·— – расчет (ОД-49), ○ – эксперимент (ДИУ), — — — — – расчет (ДИУ).

3. Разработана физическая модель рабочего процесса в период предпламенных реакций и методика расчета τ_i, учитывающая влияние важнейших параметров рабочего цикла. Разработанная методика доведена до рабочей программы на алгоритмическом языке ЭЦВМ "Минск-22".

4. Исследовано влияние различных факторов на τ_i, и выяснена значительная зависимость τ_i от $E_{эфф.}$, τ_θ, скорости изменения объема цилиндра за время τ_i, характеризуемой углом опережения впрыска топлива θ. Показано, что изменение P_θ, $n_{дв}$, параметров топливоподачи /$P_{тср}$, i_c, f_c/ оказывают меньшее воздействие на τ_i.

5. Разработана методика экспериментального исследования τ_i от отдельных параметров /P_θ, τ_θ, θ, $n_{дв}$/.

6. Обоснованность разработанной методики расчета τ_i и допустимость сделанных предпосылок подтверждена экспериментально на установках различных типов.

7. Результаты данной работы и основные положения методики эксперимента переданы в заинтересованные НИИ и ВУЗы, используются в учебном процессе кафедры КДВС МВТУ им.Н.Э.Баумана.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

I. Алексеев В.П., Воронов Г.Г., Назаров А.В. Период задержки воспламенения жидкого топлива. Известия ВУЗов "Машиностроение", I975, № I0.

2. Воронов Г.Г., Назаров А.В., Приходько А.М. Установка для исследования единичных рабочих циклов в дизеле. Известия ВУЗов, "Машиностроение", I977, № 5.

3. Воронов Г.Г., Приходько А.М. Контактный датчик подъема иглы форсунки. НИИИНФОРМ ТЯЖМАШ, Двигатели внутреннего сгорания, I976, №№ 4-76-I8.

4. Воронов Г.Г., Приходько А.М. Датчик подъема и посадки иглы форсунки дизеля. Дальневосточный межотраслевой территориальный центр - научно-технической информации и пропаганды, Информационный листок № I85-77, I977 г.