

На правах рукописи

ВОРОНЦОВ Александр Иванович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕСОБРАЗОВАНИЯ  
В АВТОМОБИЛЬНОМ ДИЗЕЛЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ  
КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

(05.04.02- тепловые двигатели)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков - 1993

Работа выполнена на кафедре "Двигатели внутреннего сгорания  
Харьковского Государственного автомобильно-дорожного техническо-  
го университета ( ХГАДТУ ).

- Научный руководитель - кандидат технических наук,  
профессор Тимченко И. И.
- Научный консультант - доктор технических наук,  
доцент Молдавский А. А.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Сахаревич В. Д.  
- кандидат технических наук  
Кокорев А. А.
- Ведущее предприятие - Головное специализированное  
бюро по двигателям средней  
мощности ( ГСКБД ) г. Харьков

Защита состоится "20" января 1994 г. в 13<sup>30</sup> часов  
на заседании специализированного совета К 114.04.01 при Харь-  
ковском институте инженеров железнодорожного транспорта по ад-  
ресу:

310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института ин-  
женеров железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан "17" декабря 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802622 (K)

Пелепеченко В. И.

**Актуальность темы.** Проблема экономии топливных ресурсов приобрела в настоящее время огромное значение практически для всех индустриально развитых государств, в том числе и для Украины.

Одним из значительных потребителей нефтяного и газового топлива является автомобильный транспорт, поэтому повышению экономичности его работы уделяется постоянное внимание.

Одним из основных направлений развития грузового автомобильного транспорта является его дизелизация. Применение дизелей вместо карбюраторных двигателей позволяет обеспечить снижение расхода топлива при грузовых перевозках до 30 %. Широкая дизелизация автомобильного транспорта, как магистральное направление, получает отражение в разрабатываемых национальных программах "Автомобильный транспорт Украины" и "Автомобилестроение Украины", в которых предусмотрено комплекс мер, по разработке новых типов дизелей с высокими удельными показателями для грузовых автомобилей, в том числе средней грузоподъемности.

Опыт транспортного дизелестроения показывает, что для получения высоких удельных показателей во всем диапазоне работы дизеля при требуемом уровне дымности необходимо совершенствовать рабочий процесс. К настоящему времени в мире накоплен значительный опыт в создании эффективных рабочих процессов в автомобильных дизелях. Однако достигнутые результаты, чаще всего, являются следствием значительных по объему расчетно-экспериментальных работ, выполненных для конкретных дизелей и поэтому не позволяют однозначно, без дополнительных углубленных исследований, решать задачу обеспечения высокоэффективного рабочего процесса в дизелях другой размерности, назначения, имеющих конструктивные отличия и особенности.

Возможность представления результатов исследования дизеля в виде аналитических зависимостей позволяет ставить задачу разработки эффективного рабочего процесса еще на стадии проектирования.

Работа выполнялась в соответствии с постановлениями ГКНТ СССР N 178 от 03.05.1979 и N 375 от 08.09.1980 года и в рамках межвузовской научно-технической программы "Высокоэкономичные двигатели внутреннего сгорания и агрегаты к их базе на 1986-1990 годы", утвержденной по МинРВЗу УССР 05.09.1986 г.

Цель и задачи исследования. Путем оптимального сочетания конструктивных параметров камеры сгорания, распылителей форсунок и впускного канала, обеспечить максимальный индикаторный к. п. д. дизеля 6 Ч 10,5/12 при принятых ограничениях уровня температуры основных деталей и допустимой дымности отработавших газов.

Поставленная в работе цель достигалась путем решения следующих задач:

- выбора типа камеры сгорания и варьируемых параметров, оказывающих наибольшее влияние на процессы смесеобразования и сгорания опытного дизеля; определения области их варьирования для проведения исследований;

- проведения многофакторного эксперимента по определению влияния варьируемых параметров на удельный индикаторный расход топлива и получение многопараметровых зависимостей для решения оптимизационной задачи;

- выбора и уточнения математических моделей, описывающих протекание процесса смесеобразования, распределение топлива в объеме камеры сгорания для анализа полученных экспериментальных данных и определения путей дальнейшего совершенствования рабочего процесса дизеля;

- разработки практических рекомендаций и проверки их эффективности на дизеле 6 Ч 10,5/12.

**Научная новизна.** В результате экспериментально-расчетных исследований доказана возможность организации эффективного рабочего процесса в дизеле 6 Ч 10,5/12 с цилиндрической камерой сгорания в поршне, унифицированной с камерой сгорания для модификации с наддувом.

На основании обобщений современных положений теории двигателей внутреннего сгорания разработана математическая модель процесса смесеобразования, включающая в себя как известные положения, так и новые методики, в частности:

- аналитическое описание поверхности и площади факела при взаимодействии с воздушным зарядом;

- зависимости, описывающие взаимодействие топливного факела с поверхностью камеры сгорания, координаты и площадь пятна контакта факела со стенкой камеры сгорания;

- расчетные зависимости для условия перехода от объемного к пленочному испарению.

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных

позволяет установить связь между показателями процесса смесеобразования и индикаторным процессом дизеля.

Получена многофакторная регрессионная зависимость, позволяющая оценить влияние на индикаторные показатели быстроходного автомобильного дизеля воздушного охлаждения с цилиндрической камерой сгорания в поршне, диаметра камеры сгорания, высоты контакта топливных струй со стенкой камеры сгорания, эффективного проходного сечения распыливающих отверстий и вихревого отношения впускных каналов.

**Практическая ценность.** Разработана методика и пакет программ на ЭВМ расчета процесса смесеобразования, позволяющие на стадии проектирования производить оценку влияния конструктивных параметров дизеля на индикаторные показатели, используя коэффициенты смесеобразования, сокращающие затраты времени и средств при проектировании и доводки дизелей.

Разработан для автомобильного дизеля 6 Ч 10,5/12 эффективный рабочий процесс со смещенной цилиндрической камерой сгорания в поршне, для осуществления которого предложено рациональное сочетание конструктивных параметров камеры сгорания, проходных сечений и направлений отверстий распылителя, вихревого отношения впускных каналов головок цилиндров. Экспериментально доказано, что на дизеле 6 Ч 10,5/12, при рекомендуемой комплектации, обеспечивается при  $P_e=92$  кВт и  $n=2800$  мин<sup>-1</sup> удельный эффективный расход топлива  $b_e=239$  г/(кВтч), что на 3-4 г/(кВтч) ниже, чем предусмотрено техническим заданием на проектирование дизеля. Получено снижение расхода топлива по сравнению с базовой моделью на 2-4 г/(кВтч), и снижение дымности отработавших газов до 7 % во всем диапазоне рабочих режимов.

**Реализация результатов работы.** Предложенные в работе практические рекомендации по комплектации двигателя 6 Ч 10,5/12 приняты к внедрению на ПО "Горьковский автомобильный завод". Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых разработок составил в ценах 1985 года 494 тыс. рублей. Экономический эффект от внедрения программы "Факел" составил в ценах 1991 года 71,28 тыс. рублей.

Кроме того, результаты работы, опытный отсек автомобильного дизеля 1 Ч 10,5/12 и развернутый стенд 6 Ч 10,5/12 применяются в учебном процессе в ХГАДТУ.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались на Ессес-

каной научно-технической конференции "Повышение эффективности исполнения автомобильного транспорта и автомобильных дорог в условиях жаркого климата и высокогорных районах" (г. Ташкент, 1982), на Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование тракторных конструкций" (г. Москва, 1985), на Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания и двигателей новых схем и на новых топливах" (г. Москва, 1987), на пятнадцатой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов НАМИ (г. Москва, 1987), на научно-технических конференциях Харьковского института инженеров железнодорожного транспорта и Харьковского Государственного автомобильно-дорожного технического университета (1983-1989 гг.), на Республиканской научно-технической конференции УВНТО Машиностроителей (г. Харьков, 1991).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 14 печатных и приравняваемых к ним работах.

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений; содержит 110 страниц основного текста, 49-рисунков, 15-таблиц. Библиография включает 74 наименования.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы.

В первой главе на основании анализа работ, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях, патентной информации, описывающих особенности протекания рабочих процессов в автотракторных дизелях, близких по размерности к исследуемому, обосновывается создание высокоэффективного рабочего процесса с камерой сгорания в поршне дизеля 6 Ч 10,5/12, за счет выбора ее рациональных параметров в сочетании с подобранными к ней наилучшими параметрами впускного канала и распылителей форсунки топливной системы.

В базовом варианте дизеля 6 Ч 10,5/12 без наддува применена камера сгорания типа "Пишингер", которая, обеспечивая ряд преимуществ (достаточно низкий расход топлива, никакую жесткость работы дизеля, низкий уровень шума и др.), имеет и существенные недостатки. Основным из них является невозможность форсирования дизеля наддувом по мощности более, чем на 20 % из-за значитель-

ного роста температур цилиндрично-поршневой группы, что является серьезным препятствием на пути унификации камер сгорания, а, следовательно, и реализуемого в них рабочего процесса.

Возможность организации рабочего процесса в цилиндрической смещенной по отношению к оси цилиндра камере сгорания, однотипной с принятой для наддувного варианта позволила бы унифицировать не только способы осуществления рабочих процессов в дизелях семейства 6 Ч 10,5/12 и 6 ЧН 10,5/12, что само по себе экономически целесообразно, но и ряд систем двигателя, что в сумме даст значительный экономический эффект в условиях крупносерийного производства.

Наибольшее распространение в автотракторных дизелях получили цилиндрические камеры сгорания в поршне.

Поэтому для исследования принята цилиндрическая камера сгорания в поршне с отношением  $d_{кс} / D = 0,4-0,7$  и плоским дном, смещенная из-за эксцентрично расположенной форсунки.

Анализ показал, что для обеспечения эффективного смесеобразования в дизелях с цилиндрической камерой сгорания в поршне требуется обеспечить направленное движение воздушного заряда определенной интенсивности.

Учитывая отмеченное, в работе к исследованию принят винтовой канал, обеспечивающий изменение вихревого отношения в диапазоне  $\Omega = 0,6-1,0$  (методика ГАЗ) или  $\Omega = 3,3-5,1$  (методика ЯМЗ-МАДИ).

Для принятого типа камеры сгорания и впускного канала обычно используются многодырчатые распылители закрытого типа. По результатам анализа литературных данных и предварительных испытаний, для исследования приняты четырехдырчатые распылители с различными значениями эффективных проходных сечений ( $\mu_{р} = 0,14-0,22 \text{ мм}^2$ ), оси которых в плане делят камеру сгорания на равные части. По положению условного контакта факела распыленного топлива со стенкой камеры сгорания принятые к исследованию варианты перекрывали практически всю высоту камеры сгорания в поршне.

Во второй главе приводится описание экспериментальных установок и методик, принятых при экспериментальных исследованиях, выбор и обоснование для экспериментальных исследований, варьируемых конструктивных параметров.

Экспериментальные исследования проводились на одноцилиндровом отсеке 1Ч 10,5/12, оборудованном автономными системами авто-

матического регулирования температуры масла и воздуха. Отсек был оснащен контрольно-измерительной аппаратурой согласно ГОСТ 14846-81. Индицирование двигателя осуществлялось электропневматическим стробоскопическим индикатором. Для регистрации одиночных индикаторных диаграмм, процессов топливоподачи и подъема иглы форсунки применялась осциллографическая аппаратура, включавшая тензодатчики давлений и индуктивные датчики подъема иглы форсунки. Для измерения температур деталей цилиндра-поршневой группы двигателя использовались хромель-копелевые и хромель-алюминиевые термодатчики. Дымность отработавших газов измерялась дымометром "БОИ".

Экспериментальные исследования включала в себя проведение дополнительных исследований на безмоторных стендах и установках: стенде для испытаний ТНВД; стенде для определения величины эффективного проходного сечения распылителей; стенде для проливки топливпроводов высокого давления; установке для определения направления осей распыливающих отверстий; стенде для проверки давления подъема иглы форсунки; стенде для статической продувки головок цилиндров.

Оценка механических потерь производилась по данным прокручивания дизеля от постороннего источника. При этом определялось среднее давление механических потерь и среднее давление насосных ходов. Кроме того, определялось среднее давление насосных ходов на работающем дизеле. Полученные величины являлись исходными для определения среднего индикаторного давления.

Для проверки адекватности применяемых математических моделей смесеобразования дополнительно были проведены эксперименты по качественной оценке картины движения воздуха в опытных камерах сгорания и взаимодействию с ним топливных факелов. Применялись методы, основанные на использовании красящего вещества. Для получения картины движения воздуха краситель наносился на днище поршня и камеры сгорания и после прокрутки производилось фотографирование отпечатков. Для изучения взаимодействия топливного факела с воздушным потоком и со стенкой камеры сгорания эксперименты проводились путем введения в топливо красящего вещества и работы дизеля с этой смесью на исследуемом режиме. Оценка производилась путем обработки полученных фотоотпечатков.

Обработка опытных результатов проводилась по стандартным методикам, с оценкой погрешностей измерения.

При анализе параметров рабочего процесса, включая определенные кривые тепловыделения, использовалась методика проф. Маца З. З.

На основании анализа целесообразных пределов варьирования диаметра камер сгорания с учетом требований методов МГЭ для эксперимента были приняты три варианта этого параметра ( $d_{кс} / D = 0,51; 0,56; 0,61$ ) со смещением их оси относительно оси цилиндра соответственно на 9,5; 7,0; 4,5 мм. Глубина камер сгорания устанавливалась из условия обеспечения постоянства степени сжатия  $\epsilon = 16,5$ .

Для каждой камеры сгорания были спроектированы и изготовлены четырехдырчатые распылители, которые обеспечивали равномерное распределение струй в плане каждой камеры сгорания. Их диаметры были равны  $d_p = 0,25; 0,3; 0,35$  мм, что соответствовало изменению эффективных проходных сечений  $\mu_p^2 = 0,14, 0,18, 0,22$  мм<sup>2</sup>, а высота условного контакта оси факела соответствовала с 8, 12 и 16 мм, отсчитанной по высоте стенки камеры сгорания.

Для исследований были приняты три варианта значений вихревого отношения впускных каналов головок цилиндров  $\zeta = 0,6; 0,8; 1,0$ , что обеспечивало требуемый диапазон изменения скорости воздушного потока.

В качестве функции отклика был принят удельный индикаторный расход топлива  $b_i$ . Для исследования был выбран план, обеспечивающий достаточную точность аппроксимации принятых показателей. Эффективность плана по D-критерию составила 0,96. План состоял из трех уровней для четырех факторов. Для проверки достоверности получаемых результатов для каждого сочетания факторов снимались нагрузочные характеристики.

В качестве ограничительных параметров принималась температура головки цилиндров  $t_{гч} = 300^\circ\text{C}$ .

Результаты экспериментального исследования обрабатывались при постоянном значении среднего индикаторного давления которое не включалось в число варьируемых параметров.

Применение методов математического планирования эксперимента позволили обработать полученные экспериментальные данные в виде полиномов второй степени, например, для индикаторного расхода топлива:

$$b_i = 208,2 + 25,56d_{кс} + 22,73\zeta + 12,77\mu_p - 17,64h_p + 0,979d_{кс}\zeta + \\ + 2,747d_{кс}\mu_p - 1,673d_{кс}h_p + 8,465\zeta\mu_p - 5,456\zeta h_p - \\ - 1,363\mu_p h_p + 23,95d_{кс}^2 - 1,983\zeta + 6,517\mu_p + 1,83h_p$$

Модель проверена на адекватность и воспроизводимость.

В третьей главе описана математическая модель и методика сравнительной оценки влияния эффективности процесса смесеобразования на показатели работы дизеля с цилиндрической смещенной камерой сгорания в поршне, основанные на расчете процесса испарения и макрораспределения паров топлива в объеме камеры сгорания. В качестве оценочных приняты показатели смесеобразования, предложенные Майером Я. М., Копыловым М. Л., Тимченко И. И. Для момента окончания второй (варьвной) фазы сгорания принят местный коэффициент избытка воздуха  $\alpha_v$ , характеризующий жесткость работы дизеля; для момента завершения сгорания, коэффициент использования объема камеры сгорания  $\alpha_M$ , позволяющий оценить экономичность рабочего процесса:

$$\alpha_M = \frac{G_{в.сг.i}}{G_{в.нб.i}} = \frac{(X_i - X_{i-1})V_{ц}L_0}{(G_{сг.i} - X_{i-1})V_{ц}L_0} \cdot \alpha_{v_i} = \frac{\sum_{i=1}^{i_{сг}} V_{ф_i}}{V_{ц}}$$

где:  $G_{в.сг.i}$ ,  $G_{в.нб.i}$  - количество воздуха, прошедшего и необходимого для сгорания паров топлива в рассматриваемый момент времени;

$V_{ф_i}$ ,  $V_{ц}$  - суммарный объем факелов распыленного топлива и его паров, и объем цилиндра в рассматриваемый момент времени.

Для оценки эффективности протекания РП значения  $\alpha_M$  и  $\alpha_v$  оценивались в двух характерных точках: в конце варьвного сгорания ( $\alpha_{Mv}$  и  $\alpha_{vv}$ ), по их значениям оценивалась жесткость работы дизеля, и при  $\varphi = 50^\circ$  п. к. в. после ВМТ ( $\alpha_{M50}$  и  $\alpha_{v50}$ ). По данным ряда исследований окончание сгорания топлива к этому моменту - близкое к оптимальному значению, а  $\alpha_{v50}$  линейно связано с  $\varphi_{к.г.}$ , устанавливаемого по кривым тепловыделения.

В связи с тем, что для вычисления показателей смесеобразования необходимо знать количество паров топлива, содержащегося в камере сгорания и количество воздуха, находящегося в области размещения паров в соответствующие моменты времени, общая расчетная модель должна включать в себя частные методики, описывающие динамику впрыскивания топлива и его распыливание; движение воздуха, формирование факела распыленного топлива, движение его в поле переменной скорости; нагрев и испарение жидкого топлива, макрораспределение паров топлива в объеме камеры сгорания.

В основу частных методик были положены результаты исследований отмеченных процессов и явлений, изложенные в работах Лышевского А. С., Вырубова Д. И., Свиридова Ю. Б., Разлейцева Н. Ф., Temple-Pediani, Tamyra, Elkoth и др.

Каждый из перечисленных выше процессов описывается аналитическими зависимостями, в которые входят в том числе конструктивные параметры дизеля, топливной аппаратуры (размеры и форма камеры сгорания, степень сжатия и надпоршневой зазор, размеры и положение впускного канала, углов распыливающих отверстий и их количество, давление и продолжительность впрыскивания топлива и др.).

Для расчетного исследования факела распыленного топлива, применена физико-математическая модель, описанная в работах Свиридова Ю. В., Раадейца И. Ф. и др., как наиболее согласующаяся с результатами опытных исследований. В модели принято, что дальность факела распыленного топлива определяется осевой частью струи, внутри которой капли топлива движутся по прямолинейным траекториям. При выходе капель топлива в головную часть факела они тормозятся и оттесняются на периферию. Для оценки параметров топливного факела (дальности, мелкости распыливания) приняты зависимости, предложенные Лышевским А. С., с уточнениями сделанными в работах Тимченко И. И. показателями при симплексах и комплексах, для двигателей и условий, близких к исследуемым.

На первом этапе расчет процесса испарения капель топлива ведется для двух качественно различных стадий: вынужденной конвекции и диффузионного горения, наличие каждой из которых оценивалось по величине относительной скорости движения капель топлива. По принятой методике определялась доля испарившегося топлива за любой промежуток времени в условиях объемного смесеобразования.

Для исследования принята пространственная модель движения воздушного заряда в камере сгорания.

Для описания поверхности топливного факела при перемещении его в объеме камеры сгорания автором получена следующая зависимость:

$$\vec{R}(t) = \vec{r}(t) + \vec{\rho}(t)(\vec{n} \cos \psi + \vec{\beta} \sin \psi),$$

где:  $\vec{r}(t)$  - вектор, берущий начало в центре среза сопла распылителя и идущий к  $i$ -ой- точке, лежащей на траектории топливного факела;  $\vec{\rho}(t)$  - вектор, берущий начало в  $i$ -ой- точке, лежащей на траектории топливного факела и описывающий окружность в плоскости, нормальной к траектории;  $\vec{n}$  - вектор нормали;  $\vec{\beta}$  - вектор бинормали;  $\psi$  - угол изменения вектора  $\vec{\rho}(t)$  в нор-

мальной плоскости.

При выводе зависимости принято, что на расстоянии  $l$  от сопла распылителя диаметр основания конуса факела в нормальной (по отношению к траектории) плоскости равен диаметру основания прямого кругового конуса с высотой  $l$ ; при равенстве векторов скоростей топлива и воздуха капли топлива увлекаются воздухом в направлении и со скоростью его движения, а поверхность топливного факела определяется как для бесконечного цилиндра.

Второй этап расчета начинается по достижении топливным факелом стенки камеры сгорания. Расчет продолжается для условий пленочного смесеобразования и ведется по эквивалентному слою топливной пленки или капли как в условиях вынужденной конвекции, так и диффузионного горения. Количество топлива, попавшего на стенку, определяется с учетом количества топлива, испарившегося в объеме.

При соударении конуса распыленного топлива с поверхностью камеры сгорания образуется пятно контакта. Размеры, площадь и координаты топливного отпечатка в работе определяется с использованием  $R$ -функции:

$$F_{отп} = \bar{R}(t) \wedge F_{кс},$$

где:  $F_{отп}$  - площадь пятна контакта;  $\bar{R}(t)$  - поверхность топливного факела;  $F_{кс}$  - поверхность камеры сгорания.

Конъюнкция поверхностей камеры сгорания и топливного факела определяет размеры пятна контакта.

Поверхность цилиндрической камеры сгорания записывается как конъюнкция дивъюнкций двух бесконечных цилиндров и двух перпендикулярных плоскостей, секущих эти цилиндры:

$$\begin{aligned} & \cdot \{ (R_{кс}^2 - x^2 - y^2)(x^2 + y^2 - R_{ц}^2) \vee [(R_{кс}^2 - x^2 - y^2) \wedge \\ & \wedge [z(h_{кс} - z)]] \wedge [(x^2 + y^2 - R_{кс}^2) \wedge z^2] = 0, \end{aligned}$$

где:  $x, y, z$  - координаты точек, лежащих на поверхности камеры сгорания;  $R_{ц}$  - радиус цилиндра;  $R_{кс}$  - радиус камеры сгорания;  $h_{кс}$  - высота камеры сгорания.

Для определения количества топлива, осевшего на стенки камеры сгорания, введен критерий плотности:

$$K_{ор} = \sum_{k=1}^{k_n} F_{кп} / F_{отп},$$

где:  $F_{кп}$  - площадь единичной капли после соударения со стенкой.

При  $K_{ор} \geq 1$  возникает сплошная пленка, при  $K_{ор} < 1$  возникают отдельные группы капель. В зависимости от скорости соударения,

температур капли и стенки камеры сгорания, температуры и давления газов в цилиндре наблюдаются различные механизмы взаимодействия топлива со стенкой: на стенке камеры сгорания образуется сплошная пленка или оседают отдельные капли, либо капли топлива отражаются от стенки и испаряются в объеме.

Снос паров топлива, испарившегося со стенки рассчитывается по траекториям движущегося воздуха до момента воспламенения. После воспламенения принимается, что пары сгорают в месте их образования. Полный объем горючей смеси до начала горения в каждый момент времени состоит из объема распыленного топлива и объема снесенных паров.

Предлагаемая модель процесса смесеобразования и составленная по ней программа расчета на ЭВМ позволяют решать следующие задачи: оценить макрораспределение топлива в объеме камеры сгорания за период смесеобразования, оценить концентрационную неоднородность паров топлива по объему камеры сгорания, оценить количество топлива, испаряющегося в объеме и со стенки камеры сгорания, время испарения впрыснутой порции топлива, а так же увязать изменение конструктивных параметров дизеля с изменением физической картины процесса смесеобразования при помощи показателей смесеобразования.

В четвертой главе анализируются результаты исследования рабочего процесса опытного дизеля, которые включают в себя анализ полученных на одноцилиндровой установке экспериментальных данных и данных расчетного исследования величин  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и др и их связей с показателями работы дизеля.

Результаты экспериментального исследования показали, что в рассматриваемом дизеле возможно организовать эффективный рабочий процесс в цилиндрической смещенной камере сгорания с плоским днищем в поршне, не уступающий по экономичности и экологическим показателям рабочему процессу в базовой камере типа "Пинингер" и техническому заданию завода на проектирование дизеля.

Опытные данные были представлены в виде полиномов второй степени, которые исследовались на экстремум. Минимизация функции проводилась методом "перебора" по имеющимся стандартным программам.

Проведенная оптимизация позволила получить зависимости как для оценки взаимного влияния факторов на функцию отклика, так и для оценки влияния каждого из них.

Лучшие показатели по экономичности получены для камеры сгорания с  $d_{кг} = 44$  мм для всех комплектаций остальных варьируемых параметров.

Абсолютно лучшие результаты для этой камеры сгорания достигнуты в комплектации с головкой цилиндров, винтовой канал которой обеспечивал  $\Omega = 0,6$  и с распылителем с эффективным проходным сечением  $\mu_{р} = 0,20$  мм<sup>2</sup> ( $d_{р} * n_{р} = 0,3$  мм \* 4) и  $h_{р} = 11$  мм.

Распылители со значением  $\mu_{р}$  в диапазоне 0,18–0,22 мм<sup>2</sup> обеспечивали близкие показатели по экономичности.

Анализ результатов оптимизации показывает, что при всех исследованных направлениях осей топливных факелов оптимальное значение соответствует условному контакту со стенкой камеры сгорания в диапазоне (0,45–0,48)  $h_{р}$  при положении поршни в ВМТ.

Анализ кривых тепловыделения в целом подтверждает правильность установления оптимальной комплектации варьируемых конструктивных параметров дизеля для исследуемой области варьирования. Для этого случая кривая  $X_i = f(\varphi)$  имеет крутой передний фронт и минимальную продолжительность по  $\varphi_{кг}$ .

Результаты анализа макрораспределения топлива по камере сгорания подтверждают, что наилучшей комплектации варьируемых параметров отвечает более полное вовлечение всасываемого воздуха камеры сгорания в процессы смесеобразования и сгорания.

Объяснение механизма формирования этих результатов и пути их улучшения стало возможным при анализе установления связей принятых показателей смесеобразования ( $\alpha_m$  и  $\alpha_v$ ) с конструктивными параметрами дизеля с одной стороны и показателями рабочего процесса ( $\Delta P / \Delta \varphi$ ,  $\lambda_u$ ,  $b_i$ ) с другой.

Результаты полученные в работе подтверждают линейную связь между окончанием сгорания  $\varphi_{кг}$  и показателем  $\alpha_{vso}$ , что подчеркивает информативность этого показателя.

В связи с тем, что лимитирующее влияние на смесеобразование в этот период оказывает испарение топлива в условиях диффузионного сгорания, можно использовать существующую связь между  $\varphi_{кг}$  и показателем экономичности дизеля  $b_i$ , установленную ранее в работах Майера Я. М., Тимченко И. И.

Зависимость ( $\varphi_{кг} / \varphi_{кг \text{ min}} = f(\alpha_{vso} / \alpha_{vso \text{ min}})$ ), которая подтверждает линейную взаимосвязь этих показателей и свидетельствует о возможности оценки процесса сгорания по принятым показателям смесеобразования ( $\alpha_{mso}$  и  $\alpha_{vso}$ ).

Существование такой устойчивой обобщающей зависимости для дизелей данного класса позволяет не только оценить наибольшее значение показателя  $L_{vso}$ , к которому нужно стремиться для обеспечения эффективного процесса сгорания, но и косвенно оценить достижимый уровень индикаторных показателей дизеля.

В пятой главе приводятся результаты проверки рекомендаций, данных на основании комплексного исследования одноцилиндрового дизеля, на полноразмерном дизеле 6 Ч 10,5/12.

Оценка производилась по нагрузочным характеристикам при  $n = 2800, 2400, 1600$  и  $1200 \text{ мин}^{-1}$ .

Комплектация полноразмерного дизеля соответствовала данным оптимизации. При испытании дизеля 6 Ч 10,5/12 был обеспечен на номинальном режиме работы ( $P_e = 92 \text{ кВт}$  при  $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$ ) удельный эффективный расход топлива  $b_e = 239 \text{ г/(кВтч)}$  при дымность 38 %.

Расход топлива на номинальном режиме был снижен на 3-4 г/(кВтч) по сравнению с заданным по техническому заданию. Дымность снижена на 7 %.

На частичных режимах при  $n = 1200, 1600 \text{ мин}^{-1}$  был достигнут минимальный эффективный расход топлива  $b_e = 220-222 \text{ г/(кВтч)}$ , что на 2-4 г/(кВтч) меньше, чем у базового дизеля и чем предусмотрено техническим заданием.

Результаты исследования на развернутом дизеле подтверждают результаты, полученные на одноцилиндровой установке дизеля 1 Ч 10,5/12.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана и апробирована для автомобильного дизеля 6 Ч 10,5/12 открытая цилиндрическая камера сгорания в поршне, унифицированная с камерой сгорания для модификации дизеля с газотурбинным наддувом, которая обеспечивает более высокие технико-экономические и экологические (по дымности ОГ) показатели работы по сравнению с базовым вариантом камеры сгорания типа "Пишингер". На режиме номинальной мощности  $P_e = 92 \text{ кВт}$  при  $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$  обеспечивается: удельный эффективный расход топлива  $b_e = 239 \text{ г/(кВтч)}$  и дымность ОГ  $K = 38 \%$ , что соответственно на 3-4 г/(кВтч) и на 7 %.

ниже, чем у базового варианта дизеля. Получено снижение расхода топлива по сравнению с базовой моделью на 2-4 г/(кВтч), и снижение дымности отработавших газов до 7 % во всем диапазоне рабочих режимов.

2. Для обеспечения этих показателей работы по результатам проведенной оптимизации для дизеля 6 Ч 10,5/12 заводу рекомендованы следующие величины варьируемых параметров:  $d_{кк} = 0,54$  мм,  $\Omega = 0,6$ ,  $l_{гф} = 0,2$  мм,  $h_p = 11$  мм.

3. По результатам расчетно-экспериментального исследования с применением методов МПЭ и последующей оптимизацией многопараметровых зависимостей, связывающих удельный индикаторный расход топлива с варьируемыми параметрами, установлено, что высота условного контакта оси топливного факела с образующей камеры сгорания (0,45-0,48)  $h_p$  и четырехдырчатый распылитель с  $l_{гф} = 0,2$  мм оптимальны для всех диаметров варьируемых камер сгорания. Использование ТНВД с  $d_{пл}/h_{пл} = 8,5/10$  обеспечивает лучшие индикаторные показатели с камерой сгорания  $d_{кк} = 54$  мм. Дальнейшее уменьшение диаметра камеры сгорания приводит к повышению теплонпряженности поршня. С увеличением диаметра камеры сгорания, при неизменном количестве распыляющих отверстий, требуется повышенное значение вихревого отношения впускных каналов. Применение методов МПЭ позволило установить закономерности между варьируемыми конструктивными параметрами и удельным индикаторным расходом топлива, и оценить влияние каждого параметра на эту функцию.

4. На основании общих теоретических положений и проведенных ранее экспериментов уточнена и дополнена математическая модель смесеобразования, позволяющая оценить макрораспределение топлива в объеме цилиндрической камеры сгорания и связать показатели, принятые для оценки смесеобразования, с конструктивными параметрами дизеля с одной стороны и индикаторными показателями рабочего процесса с другой. В частности впервые в модель введены:

- аналитическое описание поверхности и площади факела при взаимодействии с воздушным зарядом;
- зависимости, описывающие взаимодействие топливного факела с поверхностью камеры сгорания, координаты и площадь пятна контакта факела со стенкой камеры сгорания;
- расчетные зависимости для условия перехода от объемного к пленочному испарению.

5. Оценка макрораспределения топлива в объеме камеры сгора-

ния и уровня технико-экономических показателей работы дизеля по методике проф. Маца В. Э. показали, что путем дальнейшего совершенствования рабочего процесса возможно существенное их повышение; намечены направления такой оптимизации.

6. Предложенные в работе практические рекомендации по комплектации двигателя 6 Ч 10,5/12 с цилиндрической камерой сгорания в поршне приняты к внедрению на ПО "Горьковский автомобильный завод". Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых разработок составил на 1985 год 494 тыс. рублей. Экономический эффект от внедрения программы "Такел" составил на 1991 год 71,28 тыс. рублей в год.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Тимченко И. И., Воронков А. И. М год оптимизации показателей работы быстроходного дизеля с объемно-пленочным смесеобразованием. // Тезисы докл. ВНТК/ТАДИ. Ташкент. -1982. -С. 34 -35.

2. Воронков А. И., Тимченко И. И. Расчетная модель определения показателей процесса смесеобразования в быстроходных дизелях. // Тезисы докладов ВНТК/НАТИ. -М. -1985. -С. 11-12.

3. Сахаревич С. В., Жадан П. В., Воронков А. И., Тимченко И. И. Результаты доводки рабочего процесса высокооборотного дизеля воздушного охлаждения. // Тезисы докл. ВНТК/НАТИ. -М. -1985. -С. 40-41.

4. Тимченко И. И., Жадан П. В., Воронков А. И. и др. Исследование и оптимизация рабочих процессов транспортных двигателей. /Отчет о госбюджетной научно-исследовательской работе за 1981-1985 годы. N гос. рег. 01829053710. Инв. N 0285. О. 076182. ХАДИ. -Харьков. -1985. -227 с.

5. Тимченко И. И., Харченко А. И., Воронков А. И. и др. Исследование рабочего процесса, теплонпряженности и систем газотурбинного наддува дизеля ГАЗ 542, с целью повышения его мощности, экономичности и надежности при работе с наддувом. /Отчет по НИР, гос. рег. N 80023300, инв. N 0285. О. 082405. -Харьков. -1985. -276 с.

6. Воронков А. И., Пархоменко Н. Д., Сахаревич С. В. Совершенствование рабочего процесса дизеля ГАЗ-542. // Тезисы докладов ВНТК/МВТУ - М. -1987. -С. 90-91.

7. Воронков А. И., Сахаревич С. В., Тимченко И. И. Оценка возможности форсирования дизеля ГАЗ-542. // Тезисы докладов ВНТК/МВТУ. -М. -1987. -С. 37.

8. Сахаревич С. В., Тимченко И. И., Воронков А. И., Пархоменко Н. Д., Буракин П. А. Организация параметров рабочего процесса дизеля

ГАЗ 542, форсированного наддувом. /Харьк. ин-та инж. ж. д. трансп. -Харьков. - 1987. - С.143 -144. Деп. в ЦНИИТЭИТЯЖМАШ 11.08.87., N 1852. -ТМ 87.

9. Тимченко И. И., Харченко А. И., Воронков А. И. и др. Исследование и доводка рабочего процесса, теплонапряженности и систем газотурбинного наддува дизеля ГАЗ 542, с целью повышения его мощности, экономичности, надежности при работе с наддувом. /Отчет по НИР, гос. рег. N 01840084038, инв. N 0287. 0. 076192. -ХАДИ. -Харьков. -1987. -332 с.

10. Воронков А. И., Тимченко И. И., Жадан П. В., Пархоменко Н. Д. Организация рабочего процесса в быстроходном автомобильном дизеле без наддува с цилиндрической камерой сгорания. // ХАДИ. -Харьков, 1989, N 9. -103 с. Деп. в ЦНИИТЭИавтопром 24.02.89., N 1834- ап. 89.

11. Воронков А. И., Тимченко И. И., Пархоменко Н. Д. Исследование рабочего процесса автомобильного дизеля ГАЗ-542 с цилиндрической камерой сгорания в поршне. //ХАДИ. -Харьков, 1989, N 9. -97 с. Деп. в ЦНИИТЭИавтопром 24.02.89., N 1835 - ап. 89.

12. Воронков А. И., Жадан П. В., Седоволосый О. Н. Повышение экономичности быстроходного дизеля 6Ч 10,5/12 путем улучшения организации рабочего процесса. //Тезисы докладов РНТК УВНТО Машиностроителей. - Харьков. -1991. -С. 23-24.

13. Тимченко И. И., Муждобаев Н. Р., Воронков А. И. Математическая модель смесеобразования в дизелях с непосредственным впрыском. // Тезисы докладов РНТК/УВНТО Машиностроителей. -Харьков. -1991. -С. 34-35.

14. Воронков А. И., Ямпольский А. Л. Определение поверхности факела распыленного топлива в цилиндре дизеля //Сб. ДВС. -Харьков.: Вища школа. -1990. - N 52. -С. 24-28.



А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

С О В Е Р Ш Е Н С Т В О В А Н И Е П Р О Ц Е С С А С М Е С Я О Б Р А З О В А Н И Я  
В А В Т О М О Б И Л ь Н О М Д И З Е Л Е С Ц И Л И Н Д Р И Ч Е С К О Й  
К А М Е Р О Й С Т О Р А Н И Я

В О Р О Н К О В А л е к с а н д р И в а н о в и ч

О т в е т с т в е н н ы й з а в ы п у с к  
к. т. н. М у ж д о б а е в Н и м о л а й Р о м а н о в и ч

Формат бумаги 60x84. Печать офсетная. Бумага писчая.  
Усл. - печ. л. 10. Уч. - издат. 125. Зак. 817. Бесплатно

---

Издание ХИИТа, 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.  
Тип. ХИИТа, 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.

AB 28.576

**AB 28.576**