

05.04.02  
Г 517

На правах рукописи

Гитис Михаил Самуилович

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ  
ВНУТРИЦИЛИНДРОВОГО ПРОСТРАНСТВА СЖАТИЯ

Специальность 05.04.02 — «Тепловые двигатели»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
2002

Работа выполнена на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, г. Челябинск), в лабораториях головного специального конструкторского бюро по промышленным тракторам и двигателям к ним (ГСКБ ОАО «ЧТЗ», г. Челябинск) и Центрального научно-исследовательского института по моторостроению (ЦНИИМ, г. Москва).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Е.А. Лазарев.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.И. Суркин; кандидат технических наук, доцент М.В. Марков.

Ведущее предприятие – Государственный научно-исследовательский институт промышленных тракторов (ГОСНИИПТ, г. Челябинск).

Защита состоится 27 февраля 2002 г., в 15 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.09 Южно-Уральского государственного университета по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 25 января 2002 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



В.В. Жестков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Улучшение эксплуатационных свойств тракторных дизелей является одним из основных направлений развития отечественного и зарубежного дизелестроения. Указанное включает повышение топливной экономичности и снижение выбросов вредных веществ отработавшими газами (ОГ), определяемые резервами совершенствования рабочего цикла и его процессов. Важным резервом совершенствования процессов смесеобразования и сгорания топлива является повышение эффективности использования воздуха, аккумулированного объемом пространства сжатия  $V_c$  в цилиндре дизеля. Повышение топливной экономичности и снижение выбросов вредных веществ ОГ дизелей затруднено ограничениями, накладываемыми тепломеханической нагруженностью деталей.

Факторами, сдерживающими повышение топливной экономичности и снижение вредных выбросов ОГ при форсировании дизеля наддувом, являются увеличенный пассивный объем внутрицилиндрового пространства сжатия (объемы подклапанных выточек, торцевых и боковых зазоров головки поршня, зазоров в газовом стыке блока и головки цилиндров) и ограниченная турбулизирующая функция элементов камеры сгорания.

Увеличенный пассивный объем пространства сжатия снижает эффективность использования воздуха в процессах смесеобразования и сгорания топлива. Упрощенная форма элементов камеры сгорания ограничивает возможности турбулизации топливных струй в объеме и пленки на ее стенке и, как следствие, снижает эффективность распределения и смешения топлива с воздухом.

В этой связи тема диссертационной работы, посвященная повышению топливной экономичности и снижению выбросов вредных веществ ОГ совершенствованием элементов внутрицилиндрового пространства сжатия в дизеле, актуальна. Новые технические решения по совершенствованию элементов пространства сжатия нуждаются в теоретическом обосновании и оценке эффективности.

**Цель работы.** Повышение топливной экономичности и снижение выбросов вредных веществ отработавшими газами дизеля с наддувом и полуразделенной камерой сгорания.

**Задачи исследования.** В соответствии с поставленной целью сформулированы и решены следующие задачи:

1. Обоснование совершенствования элементов внутрицилиндрового пространства сжатия как средства снижения расхода топлива и выбросов вредных веществ отработавшими газами дизеля с наддувом;

2. Оценка математическим моделированием показателей рабочего цикла и температуры деталей дизеля при изменении пассивного объема пространства сжатия и элементов камеры сгорания;

3. Минимизация пассивного объема пространства сжатия профилированием днища поршня и фаски подклапанных выточек головки цилиндров, уменьшением надпоршневого зазора и окна прокладки газового стыка, а также изменением расположения верхнего компрессионного кольца на образующей поршня;

4. Совершенствование полуразделенной камеры сгорания созданием полости в головке цилиндров и турбулизирующего выступа на наклонной стенке;

5. Экспериментальная оценка эффективности изменения пассивного объема пространства сжатия и элементов камеры сгорания в повышении топливной экономичности и снижении выбросов вредных веществ ОГ дизеля.

**Методы исследования.** Теоретическое обоснование основных показателей дизеля, определение граничных условий теплообмена поршня и распылителя выполнены проведением вычислительных экспериментов на ПЭВМ с математическим моделированием рабочего цикла и температурного состояния в программных комплексах SYNG и TEDA. Оценка эффективности модернизируемых элементов внутрицилиндрового пространства сжатия проведена экспериментальным методом на безмоторных и моторных установках, оснащенных физическими моделями, одноцилиндровым и полноразмерным дизелями, нагружающим устройством, комплексом измерительной, регистрирующей и специальной аппаратуры.

**Объект и предмет исследования.** Элементы внутрицилиндрового пространства сжатия тракторного дизеля Д-160 с наддувом и полуразделенной камерой сгорания в поршне производства ОАО «ЧТЗ» и процессы в них происходящие.

**Научную новизну** работы составляет

1. Обоснование дифференцированного изменения элементов пассивного и активного объемов внутрицилиндрового пространства сжатия дизеля;
2. Определение математическим моделированием влияния относительного объема и доли объемного смесеобразования полуразделенной камеры сгорания (ЦНИДИ) на топливную экономичность, температуру поршня и распылителя форсунки дизеля повышенной размерности с наддувом;
3. Экспериментальное определение эффективности отдельных элементов пассивного и активного объемов внутрицилиндрового пространства сжатия в снижении расхода топлива и выбросов вредных веществ ОГ на различных режимах работы дизеля повышенной размерности с наддувом.

**Практическая ценность.** Разработанные новые технические решения по минимизации пассивного объема внутрицилиндрового пространства сжатия позволяют повысить топливную экономичность тракторного дизеля Д-160 и его форсированных модификаций. Мелкомасштабная турбулизация топливовоздушной смеси с помощью турбулизирующего выступа на наклонной стенке камеры сгорания ЦНИДИ и коррекция направленности и интенсивности воздушных вихрей созданием полости в головке цилиндров над горловиной камеры сгорания позволяют повысить топливную экономичность дизеля Д-160 с одновременным снижением выбросов вредных веществ отработавшими газами. Рекомендуемые мероприятия по повышению технического уровня дизеля Д-160 и его форсированных модификаций включают конструкторско-технологические решения, прошедшие расчетно-теоретическую и экспериментальную проверку.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований переданы для использования ОАО «ЧТЗ». В дизеле Д-160 и его модификациях реализована значительная их часть, о чем свидетельствует акт использования.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава (г. Челябинск, ЧПИ-ЧГТУ, 1987-1997 г.г.), на всесоюзной научно-технической конференции «Актуальные проблемы двигателестроения» и 2-ом всесоюзном на-

учно-практическом семинаре «Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС» (г. Владимир, НИКТИД, 1987 г., 1991 г.), на всесоюзных научно-технических семинарах «Диагностика, повышение эффективности, экономичности и долговечности двигателей» (г. Ленинград, Пушкин, ЛСХИ, 1989-90 г.г.), на XII международном симпозиуме по процессам горения (Польша, г. Катовице, 1991 г.), на научно-технических советах ГСКБ ОАО «ЧТЗ» (г. Челябинск, 1991-96, 2001 г.г.), на международной научно-технической конференции «Двигатель-97» (г. Москва, МГТУ, 1997 г.), на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава (г. Челябинск, ЧГТУ-ЮрГУ, 1997-2001 г.г.).

**Публикации.** Основное содержание работы опубликовано в 12 печатных трудах. По теме диссертации получены 8 авторских свидетельств и патентов РФ.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы 201 стр., в том числе 120 стр. основного текста, включая 25 стр. иллюстраций, список использованных источников (100 наименований) и 71 стр. приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во Введении** раскрывается актуальность темы, дается общая характеристика и кратко рассматривается содержание работы.

В первой главе диссертации анализируются проблемы совершенствования рабочего цикла с объемно-пленоочным способом смесеобразования и горения в дизеле с наддувом по результатам работ, выполненных в ЦНИИДИ, НАТИ, МАДИ, ЦНИИТА, МАМИ, ЯМЗ, ММЗ и других организациях. Рассматриваются факторы, определяющие эффективность смесеобразования и горения топлива в полуразделенной камере горения (ЦНИИДИ) дизеля повышенной размерности с наддувом. Одним из таких факторов является отношение активного объема  $V_a = V_k$  (объема камеры горения) ко всему объему внутрицилиндрового пространства сжатия  $V_k/V_c$  (рис.1), которое достаточно полно проанализировано с использованием зависимости В.Р.Гальговского, модифицированной автором:

$$\bar{V}_k = V_a / V_c = V_k / V_c = (V'_k + \Delta V_k) / V_c = (V_c - V_n + \Delta V_k) / V_c = 1 - (\varepsilon - 1)(\delta/S)[k_n - (d_k/D)^2], \quad (1)$$

где  $D$ ,  $S$  – диаметр и ход поршня,  $\varepsilon$  – степень сжатия,  $\delta$  – надпоршневой зазор,  $d_k$  – диаметр горловины камеры горения,  $V_k$  – объем камеры горения,  $V'_k$  – составляющая объема камеры горения, расположенная в поршне,  $\Delta V_k$  – составляющая объема камеры горения, формируемая частью надпоршневого зазора  $\delta$  над ее горловиной,  $V_n$  – пассивный объем пространства сжатия,  $k_n$  – коэффициент превышения пассивного объема над его составляющей, формируемой зазором  $\delta$ .

Отмечаются резервы совершенствования этой камеры горения, основными среди которых являются увеличение полноты использования воздуха, поступающего в цилиндры и аккумулируемого пространством сжатия, снижение тепловых потерь и продолжительности выгорания топлива в процессе горения, ограничение тепловой нагруженности поршня и распылителя топливной форсунки. Продолжительность  $\phi_z$  процесса горения в связи с недостаточной интенсивностью

смесеобразования и выгорания топлива в заключительных стадиях у большинства отечественных дизелей превышает рекомендуемые значения почти в 2 раза.

Совершенствование процессов смесеобразования и сгорания целесообразно интенсификацией использования воздуха в заключительных стадиях мелкомасштабной турбулизацией топливовоздушной смеси и коррекцией вихревого движения воздуха. Различна эффективность участия в процессах смесеобразования и выгорания топлива основных элементов внутрицилиндрового пространства сжатия – его активного и пассивного объемов. Под активным объемом пространства сжатия подразумевают объем камеры сгорания в поршне, а остальной объем пространства сжатия считают пассивным. Отмечается необходимость минимизации составляющих пассивного объема внутрицилиндрового пространства сжатия для увеличения полноты использования воздуха в процессах смесеобразования и сгорания с привлечением новых технических решений (рис.2). Усиление влияния элементов полуразделенной камеры сгорания на топливную экономичность и выбросы вредных веществ отработавшими газами дизеля также целесообразно новыми техническими решениями по мелкомасштабной турбулизации топливовоздушной смеси, увеличивающей долю объемного смесеобразования. В результате обосновывается актуальность, формулируются цель и задачи исследования.

Вторая глава диссертации посвящена оценке математическим моделированием показателей рабочего цикла дизеля и теплового состояния основных деталей при изменении доли пассивного объема пространства сжатия и конфигурации элементов камеры сгорания, определяющих долю объемного смесеобразования.

Проанализированы специфика и особенности известных методик, используемых автором для математического моделирования рабочего цикла, температур поршня и распылителя топливоподающей форсунки дизеля.

Основные положения методики синтеза рабочего цикла дизеля базируются на

– учете изменения состава рабочего тела в процессе сгорания при определении давления  $P$ , удельного объема  $v$  и молекулярной массы  $\mu$ , производимом для единицы массы заряда, включая долю топлива, участвующую в смесеобразовании. При этом давление и температура рабочего тела в процессе сгорания определяются с использованием зависимостей А.Н. Лаврика – Д.К. Алексеева:

$$P_j = \{[q_r(k_{j,\text{ср}} - 1)\mu_{j,\text{ср}} / (v_{j-1} \mu R T_{j-1})] \Delta x + 1\} [\psi(\alpha_{j-1}) / \psi(\alpha_j)]^{k_{j,\text{ср}}} (P_{j-1} / U), \quad (2)$$

где  $U = v_j \beta_{j-1} / (v_{j-1} \beta_j)$ .

$$T_j = P_j v_j \mu_j / (\mu R). \quad (3)$$

Текущее  $v$  значение коэффициента изменения массы рабочего тела в процессе сгорания топлива:

$$v = 1 + \{1 / [\alpha L'_0(1+\gamma)]\} x. \quad (4)$$

Текущие значения удельного объема  $v$  и молекулярной массы  $\mu$  рабочего тела:

$$v = v_1 \psi(\alpha_{\text{раб}}) / (\varepsilon v), \quad (5)$$

$$\mu = \mu_a v / \beta. \quad (6)$$

– рассмотрении процесса сгорания топлива как процесса подвода теплоты с учетом изменения состава образующихся и участвующих в нем газов. При этом текущее  $\beta$  значение действительного коэффициента молекулярного изменения

$$\beta = 1 + \{[(H/4) + (O/32)] / [\alpha L'_0(1+\gamma)]\} x. \quad (7)$$

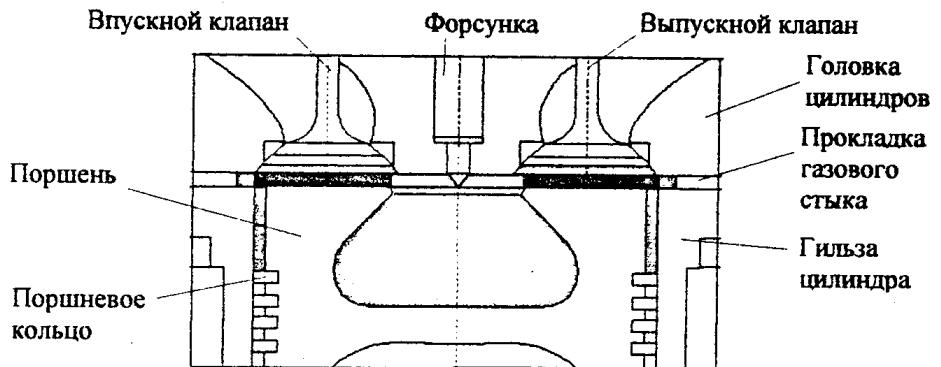


Рис.1. Структурные элементы, составляющие объем  $V_c$  внутрицилиндрового пространства сжатия в дизеле

Составляющие активного объема  $V_a$  пространства сжатия:

- составляющая активного объема  $V'_k$  — камера сгорания в поршне,
  - приращение активного объема  $\Delta V_k$  частью надпоршневого зазора  $\delta$
- Составляющие пассивного объема  $V_p$  пространства сжатия:
- объем  $V_\delta$ , формируемый надпоршневым зазором  $\delta$ ,
  - объем  $V_\chi$ , формируемый боковым зазором  $\chi$  образующей поршия,
  - объем  $V_\lambda$ , формируемый зазором  $\lambda$  прокладки газового стыка,
  - объем  $V_\varsigma$ , формируемый глубиной  $\varsigma$  выточки под клапан в головке.

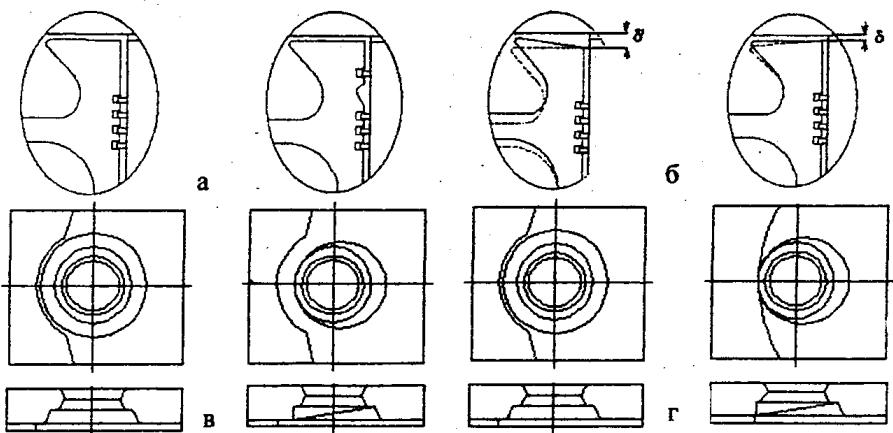


Рис.2. Конструктивные решения по минимизации составляющих пассивного объема внутрицилиндрового пространства сжатия дизеля:  
 а — перенос компрессионного кольца поршня; б — профилирование днища поршня; в — эксцентрическая фаска подклапанных выточек; г — круглое окно прокладки газового стыка головки цилиндров

– представлении унимодальной функции И.И.Вибе, в целях обеспечения достаточной точности, в модифицированном виде, учитывающем наличие двух экстремумов на дифференциальной характеристике выгорания топлива. При этом доля  $x$  выгоревшего топлива и коэффициент эффективности  $\xi$  процесса сгорания определяются по зависимостям Е.А. Лазарева:

$$x = 1 - \exp [-6,908(\phi / \phi_n)^{m_n - m_0} (\phi / \phi_2)^{m_0 + 1}], \text{ при } \phi > \phi_n, m_n = m_0, \quad (8)$$

$$\xi = 1 - 2,38 \phi_2 / (n \alpha), \quad (9)$$

где  $\phi_n$  – продолжительность начального периода, град. п.к.в.;

$m_n, m_0$  – показатели характера сгорания в начальном и основном периодах;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха,

а для сравнительной оценки качества процесса сгорания используются частные и комплексные критерии его управляемости.

Основные положения методики определения параметров теплообмена поршня и распылителя форсунки, с учетом рекомендаций А.К.Костина, G.Woschni, A.В.Николаенко, Р.М.Петриченко, Г.Б.Розенблита, Н.А.Иващенко, используют:

– граничные условия теплообмена третьего рода, которые включают эквивалентные коэффициент теплоотдачи  $\alpha_s$  и температуру  $T_s$ , окружающей среды (рабочих газов)

$$\alpha_s = \alpha_{cp} = \tau_o^{-1} \cdot \int \alpha dt, \quad (10)$$

$$T_s = (\alpha \cdot T)_{cp} / \alpha_{cp}, \quad (11)$$

– текущие значения температуры  $T$  и коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  газов во внутреннем пространстве дизеля:

а) в объеме камеры сгорания, расположенному в поршне, и в осевом (надпоршневом) зазоре  $\delta$ , между днищем поршня и головкой цилиндров, глубиной  $R=0,5D$

$$T = T_u = f(P_u, v), \quad (12)$$

$$\alpha = \alpha_u = C_q \cdot P_u^{0.8} \cdot T_u^{-0.53} \cdot D^{-0.2} \cdot W^{0.8}. \quad (13)$$

Распределение  $\alpha$  от оси цилиндра вдоль радиуса  $R$  по поверхностям днища поршня и головки цилиндров:

$$\alpha_x / \alpha_{max} = A + (B - A) x / R + [1 - A - (B - A) x / R] \cdot \{4 [(x / R)^n - (x / R)^{2n}] \}^k. \quad (14)$$

б) в радиальном зазоре  $\zeta$ , между распылителем и головкой цилиндра в отверстии для его выхода, глубиной  $h$ :

$$T = T_{p,z} = T_u, \quad (15)$$

$$\alpha = \alpha_{p,z} = \alpha_u, \text{ при } h = 0; \alpha = \alpha_{p,z} = 0,18 \alpha_u, \text{ при } h = h_{max}. \quad (16)$$

в) в радиальном зазоре  $\Upsilon$ , между образующей головки поршня над верхним компрессионным кольцом и гильзой цилиндра, глубиной  $\chi$ :

$$T = T_{6,z} = T_u, \quad (17)$$

$$\alpha = \alpha_{6,z} = \alpha_u, \text{ при } \chi = 0; \alpha = \alpha_{6,z} = (0,19 \dots 0,22) \alpha_u, \text{ при } \chi = \chi_{max}. \quad (18)$$

Параметры процесса сгорания топлива, уровень тепловых потерь и граничные условия теплообмена поршня и распылителя определены с учетом экспериментальных данных для дизеля Д-160, результатов анализа его индикаторных диаграмм давления в цилиндре, а также рекомендаций литературных источников.

С использованием программы SYNG, разработанной Д.К.Алексеевым, теоретически установлено влияние доли активного объема  $V_k/V_c$  внутрицилиндрового пространства сжатия (рис.3) и доли топлива  $\sigma$ , участвующей в объемном смесеобразовании в камере сгорания ЦНИДИ, (рис.4) на топливную экономичность дизеля с наддувом. Для обеспечения среднего индикаторного давления  $P_i = \text{const}$  при математическом моделировании рабочего цикла дизеля изменение коэффициентов избытка воздуха  $\alpha$  и эффективности  $\xi$ , показателей характера  $m_n$ ,  $m_o$  и угла начала  $\theta$  процесса сгорания в зависимости от отношения  $V_k/V_{k0}$  и доли  $\sigma$  определяется по установленным автором соотношениям (индекс « $0$ » характеризует исходные значения параметров на исследуемом режиме работы дизеля)

$$\alpha/\alpha_0 = 0,45 + 0,55(V_k/V_{k0}), \quad (19)$$

$$\alpha/\alpha_0 = 0,93 + 0,07(\sigma/\sigma_0), \quad (20)$$

$$\xi/\xi_0 = 0,70 + 0,30(V_k/V_{k0}), \quad (21)$$

$$\xi/\xi_0 = 0,98 + 0,02(\sigma/\sigma_0), \quad (22)$$

$$m_n/m_{n0} = 5,81 - 4,81(V_k/V_{k0}), \quad (23)$$

$$m_n/m_{n0} = 1,50 - 0,50(\sigma/\sigma_0), \quad (24)$$

$$m_o/m_{o0} = 1,0 \text{ при } V_k/V_{k0} = \text{var}, \quad (25)$$

$$m_o/m_{o0} = -14,0 + 15,0(\sigma/\sigma_0), \quad (26)$$

$$\theta/\theta_0 = 2,28 - 1,28(V_k/V_{k0}), \quad (27)$$

$$\theta/\theta_0 = 0,70 + 0,30(\sigma/\sigma_0), \quad (28)$$

а продолжительности сгорания  $\phi_2$  оценивается с использованием выражения (9).

С ростом  $V_k/V_c$  при неизменных степени сжатия  $\varepsilon$  и индикаторной мощности  $N$ , дизеля повышаются максимальные температура  $T_{max}$ , давление  $P_{max}$  и скорость нарастания давления  $W_{pmax}$  газов, а удельный индикаторный расход  $g_i$  топлива снижается, причем наиболее интенсивно до значений отношения  $V_k/V_c = 0,80$ . С ростом  $\sigma$  в камере сгорания ЦНИДИ при неизменной индикаторной мощности дизеля повышаются  $T_{max}$ ,  $P_{max}$ ,  $W_{pmax}$ , и топливная экономичность. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментами ЦНИДИ, в которых отмечается улучшение топливной экономичности дизеля при некотором увеличении  $\sigma$ .

С использованием программного комплекса TEDA, разработанного под руководством Н.А.Иващенко в МГТУ им. Н.Э.Баумана, проанализировано для постоянных степени сжатия и индикаторной мощности дизеля температурное состояние поршня и распылителя топливоподающей форсунки при изменении активного объема внутрицилиндрового пространства сжатия (рис.5) и доли объемного смесеобразования использованием турбулизирующего выступа на наклонной стенке камеры сгорания ЦНИДИ (рис.6). Замечено, что днище поршня более всего деформируется у горловины камеры, что ограничивает уменьшение надпоршневого зазора  $\delta$ . Заглубление  $\Delta$  горловины камеры сгорания «холодного» поршня ниже плоскости днища обеспечивает при нагреве радиальную равномерность  $\delta$ . Автором установлена зависимость заглубления от диаметра  $d_k$  горловины, максимального диаметра  $d_{kc}$  камеры сгорания, диаметра цилиндра  $D$  и относительной эффективной мощности  $N_e/N_{e\max}$  дизеля при неизменной степени сжатия

$$\Delta = 0,016(N_e/N_{e\max})[(D/d_k) - 1]d_{kc}. \quad (29)$$

Увеличение  $V_k/V_c$  и  $\sigma$  в исследуемом диапазоне сопровождается некоторым повышением температур поршня и распылителя топливоподающей форсунки – в среднем на 16...18 °C.

Третья глава диссертации посвящена описанию объекта исследования, элементов его опытных деталей и технологии их испытаний. Приведена методика экспериментального определения основных показателей рабочего цикла и вред-

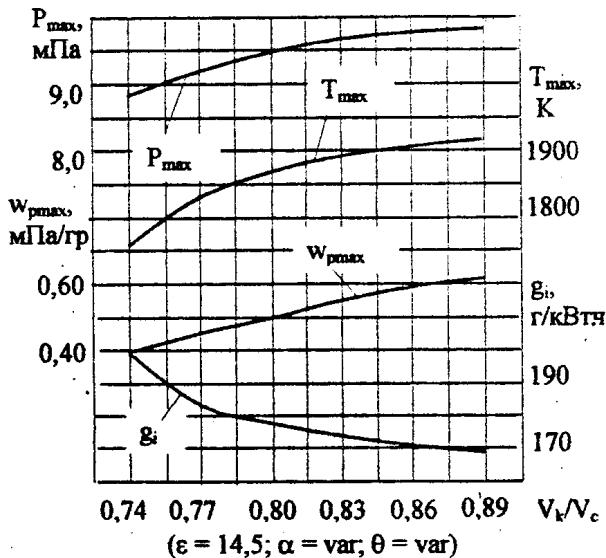


Рис.3. Зависимость основных показателей рабочего цикла от относительного объема камеры сгорания дизеля Д-160 при постоянном среднем индикаторном давлении  $P_i = 1,1$  мПа

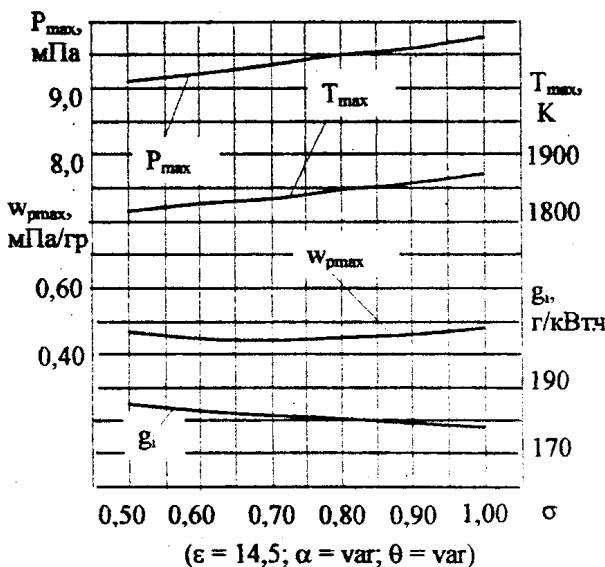


Рис.4. Зависимость основных показателей рабочего цикла от доли объемного смесеобразования в камере сгорания дизеля Д-160 при постоянном среднем индикаторном давлении  $P_i = 1,1$  мПа

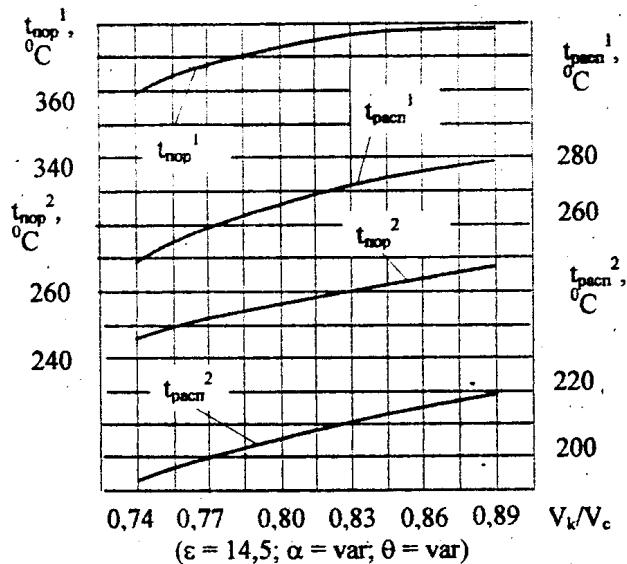


Рис.5. Зависимость температур поршня и распылителя форсунки от относительного объема камеры сгорания дизеля Д-160 при постоянном среднем индикаторном давлении  $P_i = 1,1$  мПа

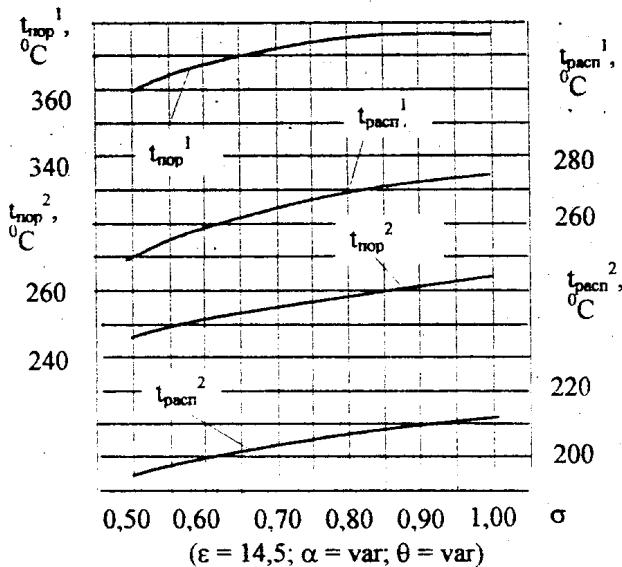


Рис.6. Зависимость температур поршня и распылителя форсунки от доли объемного смесеобразования в камере сгорания дизеля Д-160 при постоянном среднем индикаторном давлении  $P_i = 1,1$  мПа

ных выбросов ОГ при работе дизеля на различных режимах нагружения. Описаны экспериментальные безмоторные и моторные установки, измерительная, регистрирующая и специальная аппаратура, используемая в эксперименте, а также особенности ее использования. Оценены погрешности измерений основных показателей рабочего цикла дизеля и температуры деталей.

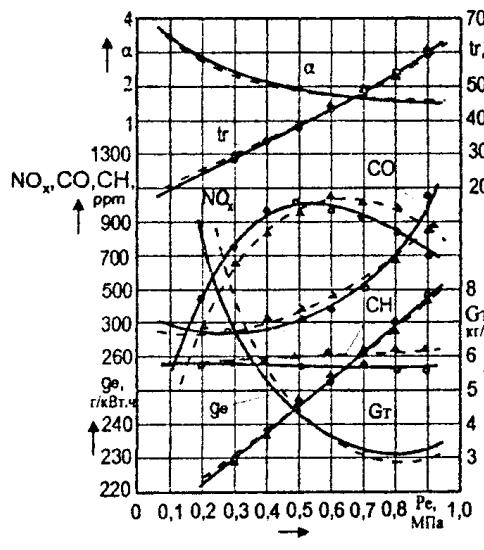
В четвертой главе приведены результаты безмоторного физического моделирования процессов движения воздушного заряда и впрыскивания топлива, выполненные с участием ЦНИИМ (г. Москва) в рамках совместных работ. Методом лазерного «ножа» качественно проанализирован сложный вихреобразный характер движения воздуха в камере сгорания ЦНИИДИ исследуемого дизеля. Методом визуализации в «холодной» бомбе качественно установлено, что расположение турбулизирующего выступа на наклонной стенке камеры сгорания ЦНИИДИ определяется местом контакта топливного факела (струи) со стенкой в соответствии с углом конуса в шатре согловых отверстий, выступанием распылителя топливоподающей форсунки от плоскости огневой поверхности головки цилиндров и моментом начала впрыскивания топлива относительно ВМТ.

Попадание топливного факела при впрыскивании на турбулизирующие элементы (в виде кольцевых выступов различного профиля попечного сечения) прежде всего способствует отрыву части пленки топлива от стенки в объем камеры сгорания. Помимо этого кольцевой турбулизирующий выступ способствует частичному отрыву пристеночного высокоскоростного потока воздуха, который интенсивно перемешиваясь с капельками отраженной пленки топлива увеличивает долю топлива, участвующую в объемном смесеобразовании. Величина последней определяется конфигурацией профиля попечного сечения турбулизирующего выступа на наклонной стенке камеры сгорания, отражающей часть пленки.

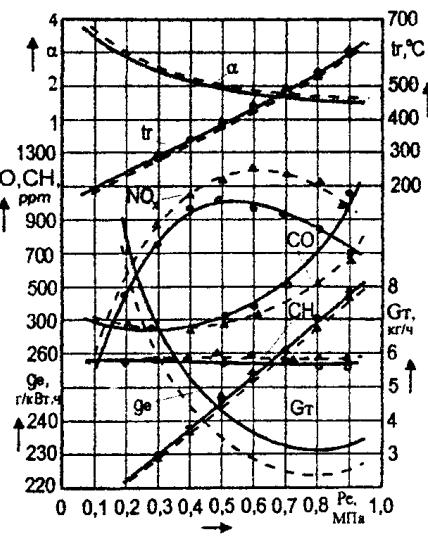
Пятая глава посвящена экспериментальному анализу эффективности новых технических решений по совершенствованию внутрицилиндрового пространства сжатия исследуемого дизеля, в частности, минимизацией пассивного объема пространства сжатия, применением камеры сгорания с турбулизирующим выступом на наклонной стенке и дополнительной полости камеры в головке цилиндров.

Экспериментально на одноцилиндровом отсеке исследуемого дизеля оценена эффективность переноса вверх по образующей поршня первого компрессионного кольца (рис.2,а и 7.а), уменьшения надпоршневого зазора с помощью торцевого профилирования днища поршня (рис.2,б и 7,б), выполнения подклапанной выточки с эксцентричной фаской для уменьшения соответствующей составляющей пассивного объема (рис.2,в и 7,в) и круглого окна в прокладке газового стыка головки цилиндров (рис.2,г и 7,г). Указанные технические решения способствуют снижению удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  дизелем Д-160 в среднем на 3...5 г/кВтч в области среднего эффективного давления  $P_e = 0.8...0.9$  мПа. При этом снижается выброс окиси углерода CO с некоторым ростом выбросов окислов азота NO<sub>x</sub> и сохранением выброса непредельных углеводородов CH OГ.

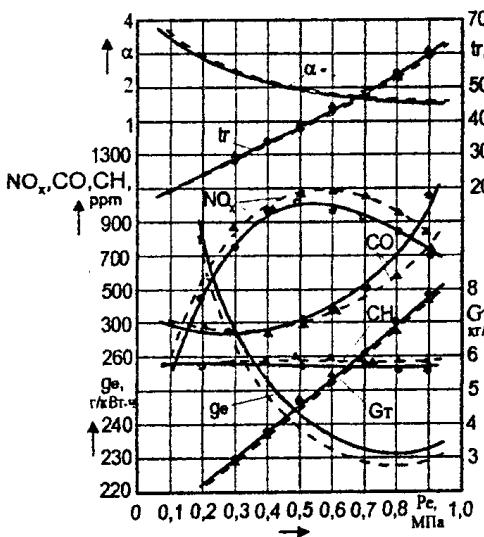
Экспериментально оптимизирован профиль попечного сечения турбулизирующего выступа (рис.8) и установлена его эффективность по снижению расхода топлива и вредных выбросов ОГ (рис.9,б). Размещение турбулизирующего выступа оптимального попечного сечения на наклонной стенке камеры сгорания



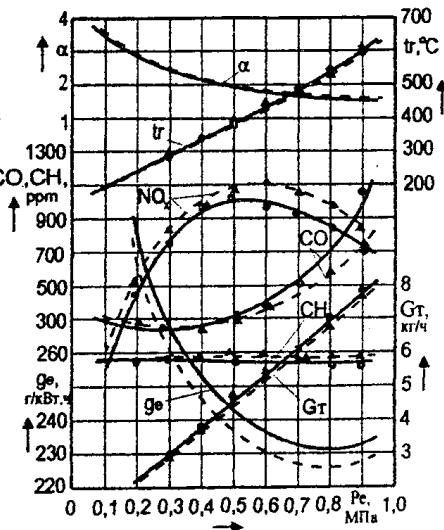
а



б



в



г

Рис.7. Нагрузочные характеристики дизеля Д-160

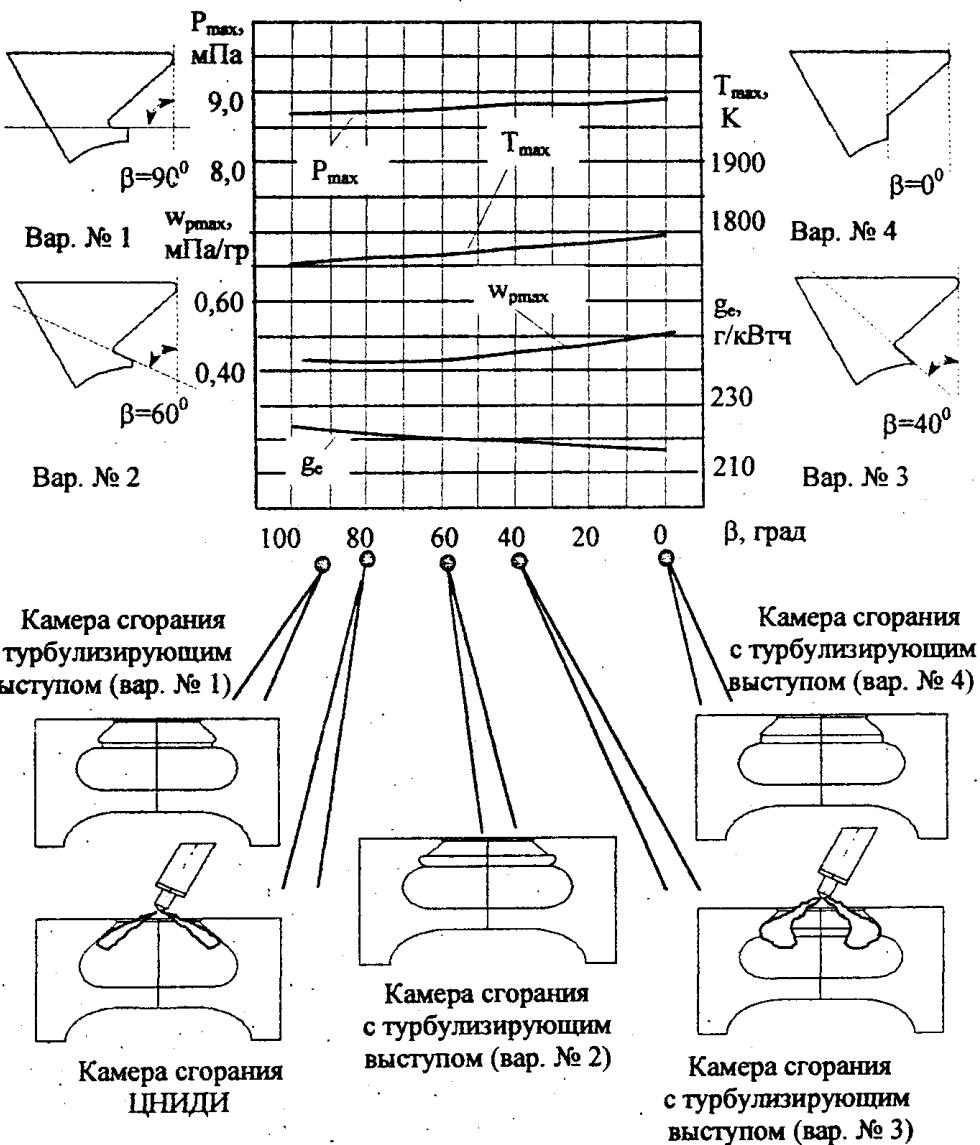
○ — штатный поршень, △ --- опытный поршень

а — перенос вверх первого компрессионного кольца;

б — перенос первого компрессионного кольца с уменьшением надпоршиневого зазора;

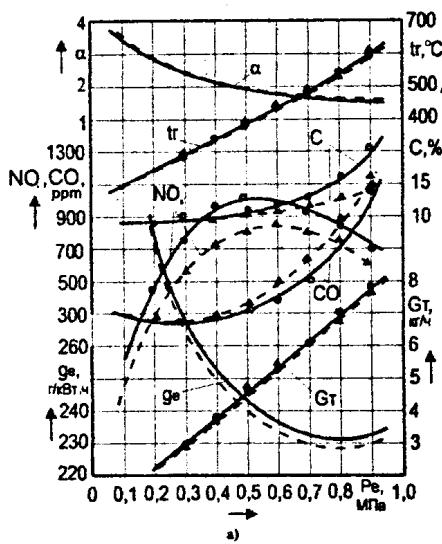
в — подклапанные выточки с эксцентричной фаской;

г — выточки с эксцентричной фаской и круглое окно в прокладке газового стыка

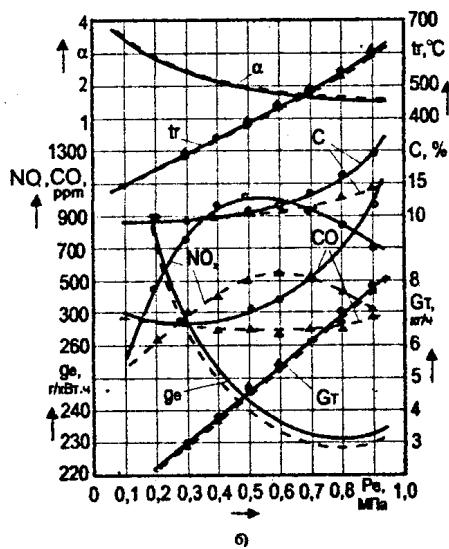


$$(\varepsilon = 14,5; \alpha = \text{var}; \theta_{\text{из}} = 26 \text{ град.п.к.в.})$$

Рис.8. Зависимость основных показателей рабочего цикла дизеля Д—160 от конфигурации турбулизирующего выступа на наклонной стенке камеры сгорания ЦНИДИ ( $P_e = 0,8 \text{ мПа}$ ,  $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$ )



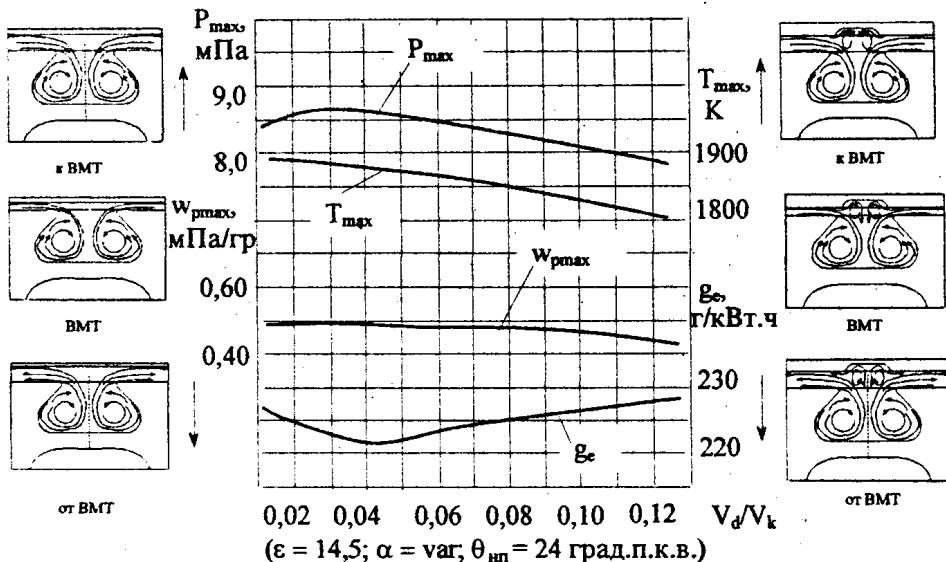
a)



б)

Рис.9. Нагрузочные характеристики дизеля Д—160

○ — штатный поршень, △--- опытный поршень  
 а — камера сгорания с дополнительной полостью в головке цилиндров;  
 б — камера сгорания с тубулизирующим выступом на наклонной стенке

Рис.10. Зависимость основных показателей рабочего цикла дизеля Д—160 от отношения объемов дополнительной  $V_d$  и основной  $V_k$  полостей опытной камеры сгорания ( $P = 0,8 \text{ мПа}$ ,  $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$ )

ЦНИДИ позволяет уменьшить удельный эффективный расход топлива  $g_e$  на 4,5...5,0 г/кВтч и выбросы вредных веществ ОГ: сажи С - на 15...18 % по шкале Хартриджа, окиси азота – на 20...23 % и окиси углерода – на 35...50 %.

Экспериментально оптимизировано соотношение  $V_d/V_k$  объемов дополнительной полости и камеры сгорания в целом (рис.10) и установлена эффективность двухполостной камеры сгорания с оптимальным  $V_d/V_k$  по снижению расхода топлива и вредных выбросов ОГ (рис.9,а). Размещение в головке цилиндров дополнительной полости с относительным объемом  $V_d/V_k = 0,035\dots 0,045$  над горловиной камеры сгорания в поршне позволяет уменьшить удельный эффективный расход топлива  $g_e$  на 3,0...3,5 г/кВтч и выбросы вредных веществ ОГ: сажи С - на 13...15 % по шкале Хартриджа и окиси азота – на 7...9 %.

Сопоставление основных достигнутых показателей исследуемого дизеля с результатами расчетно-аналитического синтеза его рабочего цикла свидетельствует об удовлетворительной степени их совпадения.

Экспериментальное подтверждение эффективности основного комплекса новых технических решений получено при испытаниях полноразмерных дизелей на режимах внешних скоростных характеристик. Совершенствование элементов внутрицилиндрового пространства сжатия использованием рассматриваемых новых технических решений на полноразмерных дизелях Д-160 обеспечило на номинальном режиме работы снижение удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  на 5...7 г/кВтч и выбросов вредных веществ ОГ: сажи С - на 10...15 % по шкале Хартриджа и окиси азота – на 7...9 %.

В **Заключении** на основе анализа выполненной диссертационной работы приводятся ее основные результаты, формулируются выводы и рекомендации.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для повышения достоверности математического моделирования рабочего цикла, температур поршня и распылителя топливной форсунки при совершенствовании элементов внутрицилиндрового пространства сжатия в дизеле разработаны и использованы полуэмпирические закономерности изменения параметров процесса сгорания топлива и, как следствие, граничных условий теплообмена.

2. Математическим моделированием рабочего цикла с сохранением индикаторной мощности исследуемого дизеля Д-160 установлено:

- снижение доли пассивного объема в полном объеме внутрицилиндрового пространства сжатия, характеризуемой отношением  $V_n/V_c = 1 - V_k/V_c$ , до 0,17 (на 7,8 %) обеспечивает повышение топливной экономичности рабочего цикла, оцениваемой удельным индикаторным расходом топлива  $g_i$ , на 4,8 %;

- увеличение доли топлива  $\sigma$ , участвующей в объемном смесеобразовании, в полуразделенной камере сгорания ЦНИДИ до 0,80 (на 33 %) обеспечивает повышение топливной экономичности рабочего цикла на 2,2 %.

3. Математическим моделированием температурного состояния методом конечных элементов установлено, что уменьшение доли пассивного объема в полном объеме внутрицилиндрового пространства сжатия и увеличение доли топлива  $\sigma$ , участвующей в объемном смесеобразовании, соответственно на 7,8 % и 33 %,

сопровождается при сохранении индикаторной мощности исследуемого дизеля Д-160 незначительным повышением максимальных температур распылителя топливной форсунки (соответственно на 3,4 % и 2,9 %) и поршня – (соответственно на 2,3 % и 1,8 %).

4. Результатами экспериментальных исследований установлено, что минимизация отдельных составляющих пассивного объема пространства сжатия неравнозначно влияет на топливную экономичность дизеля. При определении доли пассивного объема в полном объеме пространства сжатия часть его надпоршневого элемента (над горловиной камеры сгорания) следует отнести к активному объему. Характерно, что при  $V_p/V_c > 0,23$  повышение топливной экономичности дизеля обеспечивается в основном надпоршневым, а при  $V_p/V_c < 0,23$  – периферийным элементами пассивного объема.

5. Минимизация объема элементов пассивного пространства сжатия, исследуемая в условиях одноцилиндрового отсека дизеля Д-160 на номинальном режиме работы, достигается:

- оригинальным профилем днища поршня с заглублением горловины камеры сгорания, позволяющим уменьшить объем надпоршневого элемента и удельный эффективный расход топлива  $g_e$  на 2,0…3,0 г/кВтч; разработана полуэмпирическая закономерность изменения заглубления горловины камеры сгорания в зависимости от ее конструктивных параметров, диаметра цилиндра и относительной мощности дизеля;

- уменьшением объема подклапанных выточек в головке цилиндров введением эксцентричной фаски, обеспечивающим снижение удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  на 2,5…3,0 г/кВтч;

- уменьшением объема периферийного элемента за счет перемещения верхнего компрессионного кольца с размещением маслулавливающей канавки на образующей поршня, позволяющим снизить удельный эффективный расход топлива  $g_e$  на 1,5…2,0 г/кВтч.

6. Интенсификация мелкомасштабной турбулентности элементами активного объема пространства сжатия, исследуемая в условиях одноцилиндрового отсека дизеля Д-160 на номинальном режиме работы, достигается:

- размещением на наклонной стенке камеры сгорания ЦНИИДИ кольцевого турбулизирующего выступа, позволяющего увеличить долю топлива, участвующую в объемном смесеобразовании, до ≈ 80 %, уменьшить удельный эффективный расход топлива  $g_e$  на 4,5…5,0 г/кВтч и выбросы вредных веществ ОГ: сажи – на 15…18 % по шкале Хартриджа, окиси азота – на 20…23 % и окиси углерода – на 35…50 %;

- размещением в головке цилиндров дополнительной полости, расположенной над горловиной камеры сгорания в поршне, позволяющей уменьшить удельный эффективный расход топлива  $g_e$  на 3,0…3,5 г/кВтч и выбросы вредных веществ ОГ: сажи - на 13…15 % по шкале Хартриджа и окиси азота – на 7…9 %.

7. Реализация новых технических решений по совершенствованию элементов внутрицилиндрового пространства сжатия на полноразмерном дизеле Д-160 обеспечила на номинальном режиме работы снижение удельного эффективного

расхода топлива  $g_e$  на 5...7 г/кВтч и выбросов вредных веществ ОГ: сажи – на 10...15 % по шкале Хартриджа и окиси азота – на 7...9 %.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

1. Бунов В.М., Лукин В.Д., Гитис М.С. и др. Исследование влияния составляющих надпоршневого объема на экономические показатели дизеля // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тр. ЧПИ. – Челябинск, 1987. – С.32–37.

2. Лукин В.Д., Белоусов В.Н., Гитис М.С. Повышение технического уровня тракторного дизеля Д-160 // Экспресс-информация. Серия 1. Тракторы и двигатели. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1988. – Вып. 9. – С.8.

3. Сербин В.Н., Гитис М.С., Краско С.В. Тепловое и напряженное состояние поршня дизеля с полуразделенной камерой сгорания // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тр.ЧПИ. – Челябинск, 1988. – С.20–24.

4. Гитис М.С., Клинкевич М.Н., Сербин В.Н. Влияние объема периферийной зоны внутрицилиндрового пространства сжатия на показатели дизеля // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тр.ЧПИ. – Челябинск, 1989. – С.12–16.

5. Гитис М.С. Возможности повышения топливной экономичности тракторного дизеля // Передовой произв. опыт и научно-техн. достижения, рекомендуемые для внедрения в с.-х. и тракторном машиностроении. Инф. сб. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1989. – Вып. 1, 1–76. – С. 38–41.

6. Двигатель внутреннего сгорания. А.С. 1453070 СССР, МКИ F02B 23/06 / Е.Г.Пономарев, Л.Н.Басистый, О.Б.Рябиков, М.С.Гитис, М.Н.Клинкевич, В.А.Поваляев. – № 4245579/25-06. Заявл. 14.05.87. Опубл. 23.01.89. Бюл. № 3.

7. Двигатель внутреннего сгорания. А.С. 1460373 СССР, МКИ F02B 23/06 / Е.Г.Пономарев, Л.Н.Басистый, О.Б.Рябиков, М.С.Гитис, М.Н.Клинкевич, В.А.Поваляев. – № 4272068/25-06. Заявл. 14.05.87. Опубл. 23.02.89. Бюл. № 7.

8. Головка цилиндра для двигателя внутреннего сгорания. А.С. 1495476 СССР, МКИ F02F 1/42 / М.С.Гитис, А.А.Головков, М.Н.Клинкевич, В.Д.Лукин, В.А.Поваляев. – № 4279954/25-06. Заявл. 07.07.87. Опубл. 23.07.89. Бюл. № 27.

9. Головка цилиндра для двигателя внутреннего сгорания. А.С. 1518561 СССР, МКИ F02F 1/42, 1/24 / Л.Н.Басистый, О.Г.Картуесов, А.П.Шпара, М.С.Гитис, А.А.Головков. – № 4257188/25-06. Заявл. 05.06.87. Опубл. 39.10.89. Бюл. № 40.

10. Лазарев Е.А., Гитис М.С., Пономарев Е.Г. Совершенствование процесса сгорания топлива изменением относительного объема камеры сгорания в поршне тракторного дизеля // Двигателестроение. – 1990. – № 3. – С. 39–40.

11. Двигатель внутреннего сгорания. А.С. 1550195 СССР, МКИ F02B 23/06 / В.Н.Белоусов, М.С.Гитис, М.Н.Клинкевич, Ю.И.Маргулис, Л.Н.Басистый, Е.Г.Пономарев. – № 4350875/25-06. Заявл. 28.12.87. Опубл. 15.03.90. Бюл. № 10.

12. Гитис М.С., Басистый Л.Н., Бунова Е.В. Токсичность тракторного дизеля и возможности ее снижения // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тр.ЧГТУ. – Челябинск, 1991. – С.3–8.

13. Гитис М.С. Совершенствование камеры сгорания тракторного дизеля // Научно-технические достижения и передовой опыт в области с.-х. и тракторного

машиностроения. Инф. сб. – М.: ЦНИИЭИтракторосельхозмаш. Вып. 5, 1–44, 1991. – С. 9–14.

14. Камера сгорания дизеля. А.С. 1724910 СССР, МКИ F02B 23/06, F02F 3/26 / Е.Г.Пономарев, Л.Н.Басистый, О.Б.Рябиков, В.Д.Лукин, В.Н.Белоусов, М.С.Гитис, Ю.И.Маргулис, А.М.Димитренко, А.М.Ларцев.- № 4846347/06. Заявл. 03.07.90. Опубл. 07.04.92. Бюл. № 13.

15. Белоусов В.Н., Гитис М.С., Басистый Л.Н. и др. Повышение конкурентоспособности дизеля Д-160 промышленного трактора Т-130 применением нового процесса смесеобразования // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1993. – № 4. – С. 11–13.

16. Двигатель внутреннего сгорания. Патент РФ № 1768788 / В.Н.Белоусов, М.С.Гитис, А.М.Димитренко, В.Д.Лукин, Ю.И.Маргулис. Зарег. в Госреестре 26.03.96. Опубл. 15.10.92. Бюл. № 38.

17. Лазарев Е.А., Гитис М.С., Лазарев В.Е. Влияние элементов камеры сжатия на экономические и экологические характеристики тракторного дизеля // Двигатель – 97. Материалы международной научно-технической конференции / МГТУ. – М., 1997, С. 33–34.

18. Поршень для двигателя внутреннего сгорания. Патент РФ № 2109154 / В.Н.Белоусов, М.С.Гитис, А.М.Димитренко, В.Д.Лукин, Ю.И.Маргулис. Зарег. в Госреестре 20.04.98. Опубл. 20.04.98. Бюл. № 11.

19. Гитис М.С., Лазарев Е.А. Показатели рабочего цикла дизеля с наддувом при изменении элементов камеры сгорания // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сб.науч.тр. / МАДИ (ГТУ); УФ МАДИ (ГТУ). – М., 2001. – С. 120–124.

20. Гитис М.С., Лазарев Е.А., Лазарев В.Е. Температуры поршня и распылителя при изменении пассивного объема пространства сжатия и доли объемного смесеобразования в камере сгорания дизеля // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин. Научный вестник. – Челябинск: ЧВАИ, 2001. – Вып.12. – С. 45–55.

Издательство Южно-Уральского государственного университета

---

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 17.01.2002. Формат 60\*84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1.  
Тираж 100 экз. Заказ 3/31.

---

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.