

На правах рукописи

Седелев Константин Петрович

**КОНВЕРТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЯ С НАДДУВОМ
И ПОЛУРАЗДЕЛЕННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ В ГАЗОДИЗЕЛЬ
МОДЕРНИЗАЦИЕЙ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

Специальность 05.04.02 – "Тепловые двигатели"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
1998

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете на кафедре "Двигатели внутреннего сгорания".

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

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор В.С. Кукис,
кандидат технических наук, доцент М.В. Марков.

Ведущее предприятие ОАО "Челябинский тракторный завод".

Защита состоится 16 декабря 1998 г., в 15 часов, на заседании диссертационного совета К 053.13.02 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г Челябинск, пр им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета

Автореферат разослан " ____ " 1998 г

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

В.В. Жестков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсивное потребление жидкых нефтяных топлив сопровождается возникновением ряда серьезных проблем. Нефть относится к невозобновимым источникам энергии. Высокая потребность в жидких топливах часто заставляет производителей нефтепродуктов использовать сырье с большим содержанием вредных компонентов, что ведет к повышению себестоимости моторных топлив. По оценкам экологов, на сегодняшний день двигатели стали основными источниками загрязнения окружающей среды. Между тем имеются большие запасы высококачественного моторного топлива не требующего для использования в ДВС сложной технологической переработки – газового топлива. Использование газовых топлив позволяет расширить ресурсы моторных топлив и снизить их себестоимость, частично решить экологические проблемы, увеличить ресурс работы двигателей. В этой связи диссертационная работа посвящена конвертированию широко распространенного дизеля Д-160 производства ОАО "Челябинский тракторный завод" в газодизель. На базе дизеля Д-160 ОАО "ЧТЗ" выпускает дизель-генераторные установки ДГУ-60 и ДГУ-100. Разрабатываемый газодизель предназначен для расширения гаммы силовых агрегатов генераторных установок; он также может использоваться для привода других стационарных агрегатов – насосов, компрессоров и пр.

Газодизельный рабочий цикл известен, однако реализация его в конкретном дизеле с наддувом и полуразделенной камерой сгорания нуждается в теоретическом обосновании с использованием методов математического моделирования, предполагает разработку технических мероприятий с экспериментальной оценкой их эффективности.

Цель работы. В этой связи целью данной работы является конвертирование тракторного дизеля с наддувом в газодизель с комбинированным смесеобразованием.

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

1. Анализ и обоснование способа конвертирования дизеля в газодизель и вида используемого газового топлива.

2 Адаптация методики синтеза для моделирования рабочего цикла газодизеля с комбинированным смесеобразованием и наддувом

3. Оценка влияния регулировочных и конструктивных параметров систем топливоподачи и воздухоснабжения на показатели рабочего цикла газодизеля использованием математического моделирования.

4. Модернизация топливоподающей системы дизеля при конвертировании его в газодизель с комбинированным смесеобразованием

5. Экспериментальная оценка эффективности совершенствования рабочего цикла газодизеля изменением параметров систем топливоподачи и воздухоснабжения.

Методы исследования. Теоретическое обоснование основных показателей газодизельного рабочего цикла выполнено с использованием методики математического моделирования рабочего цикла дизеля, адаптированной к циклу газодизеля с комбинированным смесеобразованием, и реализацией на ПЭВМ. Экспериментальная оценка достоверности теоретического исследования и проверка работоспособности системы топливоподачи проведена экспериментальным методом на установке, оснащенной полноразмерным газодизелем, нагружающим устройством, комплексом измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Объект исследования. В качестве объекта исследования использован газодизель с наддувом и комбинированным смесеобразованием, созданный на базе дизеля Д-160 путем модернизации систем топливоподачи и воздухоснабжения.

Научная новизна. Адаптирована методика синтеза для моделирования рабочего цикла газодизеля с комбинированным смесеобразованием. Выявлены значения кинетических констант процесса горения и определен характер их изменения при изменении величины и угла начала подачи запальной порции жидкого топлива в газодизеле с наддувом и камерой сгорания ЦНИДИ. Теоретически и экспериментально оценены мероприятия по снижению тепломеханической нагрузженности газодизеля, включающие ограничение относительной величины и

уменьшение угла начала подачи запальной порции топлива, применение промежуточного охлаждения газовоздушной смеси, уменьшение числа сопловых отверстий распылителя топливоподающей форсунки в газодизельном режиме, снижение степени сжатия. Разработаны способ и устройство регулирования топливоподачи в газодизеле с наддувом и комбинированным смесеобразованием.

Практическая ценность. Рекомендованы конструктивные и регулировочные параметры топливоподающей аппаратуры, обеспечивающие снижение тепло- механической нагруженности газодизеля. Разработана оригинальная система топливоподачи для газодизеля, обеспечивающая на исследованных режимах устойчивую работу по дизельному и газодизельному процессам и сохраняющая степень неравномерности частоты вращения при работе по регуляторной ветви внешней скоростной характеристики идентичной таковой в базовом дизеле. Обеспечена возможность использования газодизеля в ДГУ-60 и ДГУ-100.

Реализация результатов исследований. Материалы исследований использованы в ОАО "ЧТЗ" и ГосНИИ "ГГ" при создании газодизельной модификации дизеля Д-160. Указанное подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ (1995-1998 г.г.) и ЧГАУ (1997-1998 г.г.), международных научно-технических конференциях МГТУ ("Двигатель-97", Москва, 1997 г.) и ЧВВАИУ (Челябинск, 1998 г.)

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 5 печатных трудах

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы 241 с., в том числе 105 с. основного текста, 27 с. иллюстраций и 10 с таблиц. Список использованной литературы содержит 52 наименования

На защиту выносятся:

1. Особенности методики синтеза рабочего цикла газодизеля с комбинированным смесеобразованием

2. Закономерности изменения кинетических констант процесса сгорания в газодизеле при использовании двухкомпонентного топлива.

3. Результаты теоретического обоснования направлений совершенствования рабочего цикла газодизеля.

4. Функциональные и конструктивные решения по модернизации топливоподающей системы дизеля при конвертировании в газодизель с комбинированным смесеобразованием

5. Результаты экспериментального исследования показателей рабочего цикла газодизеля при изменении параметров систем топливоподачи и воздухоснабжения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертационной работы, приводятся цель исследования, положения выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность в реализация результатов,дается краткий обзор содержания работы.

В первой главе диссертационной работы обосновываются вид газового топлива и схема конвертирования дизеля в газовый двигатель, рассматриваются проблемы реализации выбранной схемы конвертирования.

Сравнительный анализ различных видов газовых топлив, пригодных для применения в ДВС (природный газ, сжиженный газ, угольный и искусственный газы, водород), показывает, что рациональным, с точки зрения величины разведененных запасов (или возможностей для производства в необходимых количествах) является использование природного газа. Рассмотрение физико-химических и моторных свойств природного газа позволяет выделить ряд преимуществ при использовании в ДВС в сравнении с жидкими топливами: увеличение ресурса двигателей, сокращение суммарных эксплуатационных расходов, снижение токсичности отработавших газов и др.

Анализ конструкций современных поршневых газовых двигателей, различающихся тремя основными признаками: способом воспламенения рабочей смеси, способом смесеобразования и числом тактов, показывает, что в настоящий момент, с учетом потребительского спроса, конструкции базового дизеля и предъявляемых требований (минимизация конструктивных изменений, возможность использования серийно-выпускаемой газовой аппаратуры, сохранение возможности эксплуатации на дизельном топливе), оптимальным в результате конвертирования является четырехтактный газодизель с комбинированным смесеобразованием: внешним по газовому и внутренним по жидкому запальному топливу.

На основании анализа литературных источников выделяется ряд проблем присущих газодизельному циклу, главной из которых является рост тепломеханической нагруженности при частичном замещении жидкого топлива газообразным, что проявляется в повышении максимальных давления цикла P_{\max} и быстроты его нарастания $W_{p\max}$, максимальной температуры цикла T_{\max} и тепловой нагруженности распылителя форсунки, характеризуемой его температурой t_p . Указанное обусловлено особенностями воспламенения и горения двухкомпонентного (состоящего из газовой и жидкой составляющих) топлива в газодизеле.

В заключении первой главы сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

Вторая глава диссертации посвящена математическому моделированию и совершенствованию рабочего цикла газодизеля. Проводится анализ особенностей процесса горения двухкомпонентного топлива. Рассматривается методика синтеза рабочего цикла дизеля, адаптированная, путем учета особенностей комбинированного смесеобразования и горения двухкомпонентного топлива, для газодизеля с комбинированным смесеобразованием. Особенностью методики являются следующие положения:

1. Учет физико-химических свойств двухкомпонентного топлива производится путем перехода к условному "приведенному" топливу, характеризующемуся "приведенными" элементарным химическим составом, теплотой горения и теоретически необходимым количеством воздуха для его горения.

2. Учет изменения состава рабочего тела при определении давлений, удельного объема и молекулярной массы производится для единицы массы заряда с учетом топлива, участвующего во внутреннем смесеобразовании.

3. Процесс сгорания топлива рассматривается как процесс подвода теплоты с учетом изменения состава образующихся и участвующих в нем газов.

4. Унимодальная функция И.И. Вибе в целях обеспечения достаточной точности используется в модифицированном виде, учитывающем наличие двух экстремумов на дифференциальной характеристике выгорания топлива.

5. Для сравнительного анализа процесса выгорания топлива выполняется критериальная оценка его качества.

Математическая модель рабочего цикла отдельными блоками включает математические модели процессов впуска, сжатия, сгорания и расширения, а также критериальную оценку качества процесса сгорания и определение индикаторных показателей.

Осуществляется переход от двухкомпонентного топлива к "приведенному" топливу, обладающему "приведенными" характеристиками – элементарным химическим составом $C_{\text{пр}}$, $H_{\text{пр}}$, $O_{\text{пр}}$,

$C_{\text{пр}} = g_t C_t + (1-g_t) C_i$, (1); $H_{\text{пр}} = g_t H_t + (1-g_t) H_i$, (2); $O_{\text{пр}} = g_t O_t + (1-g_t) O_i$, (3)
и теплотой сгорания $H_{\text{пр}}$.

$$H_{\text{пр}} = g_t H_{t\text{пр}} + (1-g_t) H_{i\text{пр}}, \quad (4)$$

где g_t – массовая доля топлива, участвующая во внешнем смесеобразовании, от общей цикловой подачи; C_t , H_t , O_t , C_i , H_i , O_i – содержание углерода, водорода и кислорода соответственно для топлива поданного на впуске и участвующего во внутреннем смесеобразовании; $H_{t\text{пр}}$, $H_{i\text{пр}}$ – низшая теплота сгорания для топлива поданного на впуске и участвующего во внутреннем смесеобразовании соответственно, МДж/кг.

"Приведенное" теоретически необходимое количество воздуха для сгорания топлива рассчитывается по традиционным зависимостям с использованием значений $C_{\text{пр}}$, $H_{\text{пр}}$, $O_{\text{пр}}$.

Доля выгоревшего топлива определяется по зависимости Е.А. Лазарева, основанной на использовании уравнения И.И. Вибе

$$x = 1 - \exp[-6,908(\varphi / \varphi_0)^{m_n - m_o} (\varphi / \varphi_2)^{m_o + 1}],$$

при $\varphi > \varphi_0$, $m_n = m_o$. (5)

где φ_n – продолжительность начального периода процесса сгорания, град ПКВ; φ_2 – продолжительность процесса сгорания, град ПКВ; m_n , m_o – показатели характера сгорания в начальном и основном периодах процесса сгорания.

Параметры рабочего тела в конце элементарного участка синтеза определяются с использованием уравнения динамики процесса сгорания предложенного А.Н. Лавриком и модифицированного Д.К. Алексеевым

$$P_j = [(q_z (k_{j,sp} - 1) \mu_{j,sp} / (v_{j-1} \mu R T_{j-1})) \Delta x + 1] \cdot (\psi(\alpha_{j-1}) / \psi(\alpha_j))^{k_{j,sp}} (P_{j-1} / D). \quad (6)$$

где q_z – общая удельная использованная теплота сгорания, МДж/кг; $k_{j,sp}$ – отношение теплоемкостей рабочего тела в конце элементарного участка синтеза; $\mu_{j,sp}$ – молекулярная масса рабочего тела на элементарном участке, кг/моль; v_j – значение коэффициента изменения массы рабочего тела на элементарном участке; μR – универсальная газовая постоянная, МДж/(кмоль · К); T_j – температура на участке, К, Δx – доля топлива, выгоревшая на элементарном участке; $\psi(\alpha_j)$ – кинематическая функция перемещения поршня; $D = v_j \beta_{j-1} / v_{j-1} \beta_j$, где β_j – значение действительного коэффициента молекулярного изменения на элементарном участке.

Методика позволяет с достаточной точностью моделировать рабочий цикл газодизеля. Выбор исходных данных и граничных условий выполнен на основании накопленных рекомендаций для дизеля Д-160, результатов предварительного анализа индикаторных диаграмм газодизеля, а также рекомендаций литературы

Оценка коэффициента эффективности процесса сгорания ξ выполнялась с использованием зависимости

$$\xi = 1 - 2,38 \cdot \varphi_2 / (\pi \cdot \alpha), \quad (7)$$

где π – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹; α – коэффициент избытка воздуха.

С использованием методики выполнено теоретическое исследование влия-

ния относительной величины запальной порции топлива Ω на показатели рабочего цикла газодизеля и оценены мероприятия по его совершенствованию для двух уровней мощности, необходимых при работе в составе ДГУ-60 (рис.1) и ДГУ-100 (рис.2). Анализ результатов показывает, что увеличение доли замещаемого жидкого топлива сопровождается существенным ростом максимальных значений давления газов P_{\max} , быстроты его нарастания $W_{p \max}$, максимальной температуры цикла T_{\max} .

Снижение тепломеханической нагруженности газодизеля может быть достигнуто рядом мероприятий - ограничением относительной величины Ω и снижением угла начала подачи $\theta_{под}$ запальной порции топлива, применением промежуточного охлаждения газовоздушной смеси (ПО ГВС), уменьшением числа топливоподающих отверстий распылителя i_c в газодизельном режиме и степени сжатия ϵ . Рассмотрены варианты их индивидуального и комплексного применения.

Для газодизеля установки ДГУ-60 целесообразно ограничение Ω величиной 0,3 в уменьшение угла опережения подачи запального топлива $\theta_{под}$. Эффективно снижение числа сопловых отверстий распылителя и степени сжатия. При этом существенно снижаются максимальное давление и быстрота его нарастания при приемлемой эффективности и экономичности рабочего цикла.

Для газодизеля ДГУ-100, помимо рассмотренных вариантов снижения тепломеханической нагруженности, в связи с необходимостью повышения мощности, оценивалось влияние промежуточного охлаждения газовоздушной смеси. Последнее снижает P_{\max} в T_{\max} .

Третья глава диссертации посвящена вопросам модернизации топливоподающей системы базового дизеля при конвертировании его в газодизель. Модернизированная система, рис. 3, обеспечивает эксплуатацию газодизеля в дизельном и газодизельном режимах. В дизельном режиме работы газовое топливо не подается, система топливоподачи функционирует как в базовом дизеле. Для подачи газового топлива в газодизельном режиме используется способ подачи путем

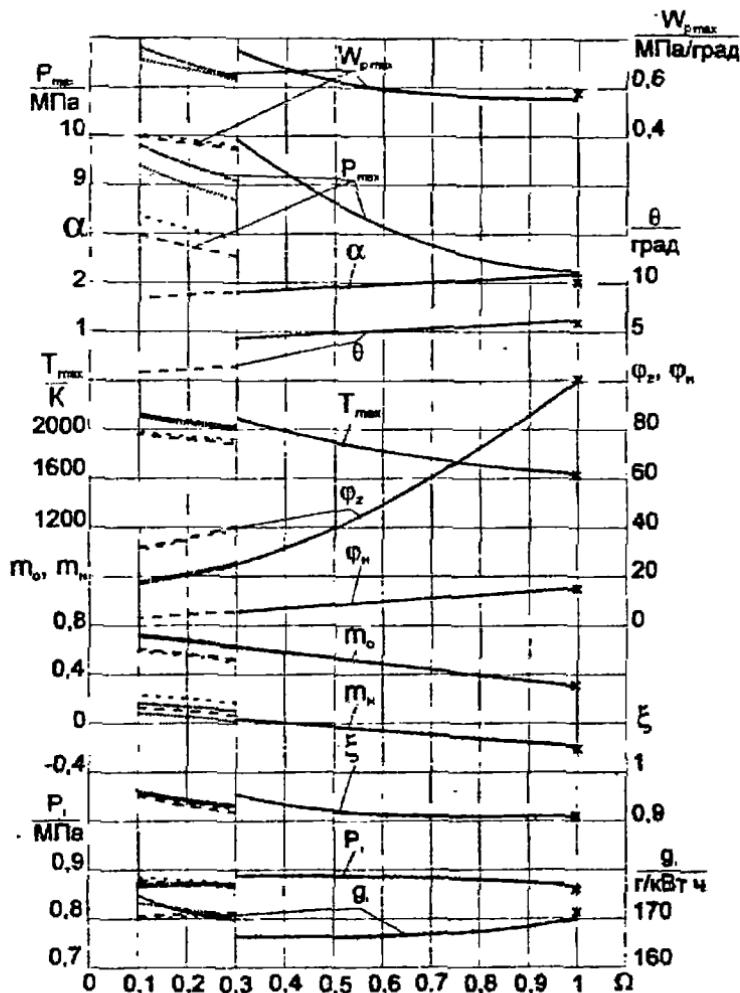


Рис. 1. Влияние относительной величины запальной порции топлива на показатели рабочего цикла газодизеля:

- $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G=\text{const}$, $\theta_{\text{зап}}=22 \text{ град ПКВ}$, $\epsilon=14,5$, $i=5$;
- $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G=\text{const}$, $\theta_{\text{зап}}=17 \text{ град ПКВ}$, $\epsilon=14,5$, $i=5$;
- $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G=\text{const}$, $\theta_{\text{зап}}=16,5 \text{ град ПКВ}$, $\epsilon=14,0$, $i=5$;
- · - · $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G=\text{const}$, $\theta_{\text{зап}}=17,5 \text{ град ПКВ}$, $\epsilon=14,5$, $i=1$;
- · - · $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G=\text{const}$, $\theta_{\text{зап}}=17 \text{ град ПКВ}$, $\epsilon=14,0$, $i=1$;
- * $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G=\text{const}$, $\theta_{\text{зап}}=22 \text{ град ПКВ}$, $\epsilon=14,0$, $i=5$

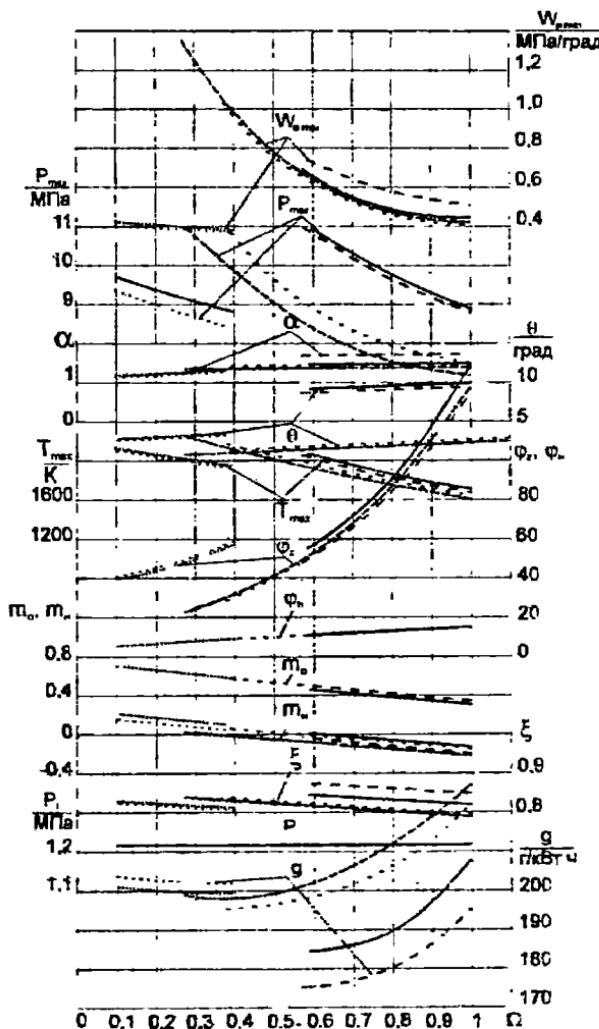


Рис. 2. Влияние относительной величины запальной порции топлива на показатели рабочего цикла газодизеля

- $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_i=\text{const}$, $\theta_{\max}=24 \text{ град ПКВ}$, $\varepsilon=14.5$, $i_c=5$
- - - $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_i=\text{const}$, $\theta_{\max}=24 \text{ град ПКВ}$, $\varepsilon=14.5$, $i_c=5$, ПО ГВС
- ··· $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_i=\text{const}$, $\theta_{\max}=17 \text{ град ПКВ}$, $\varepsilon=14.5$, $i_c=5$, ПО ГВС
- $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_i=\text{const}$, $\theta_{\max}=17 \text{ град ПКВ}$, $\varepsilon=14.0$, $i_c=5$, ПО ГВС
- $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_i=\text{const}$, $\theta_{\max}=17 \text{ град ПКВ}$, $\varepsilon=14.5$, $i_c=1$, ПО ГВС
- ··· $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_i=\text{const}$, $\theta_{\max}=17 \text{ град ПКВ}$, $\varepsilon=14.0$, $i_c=1$, ПО ГВС

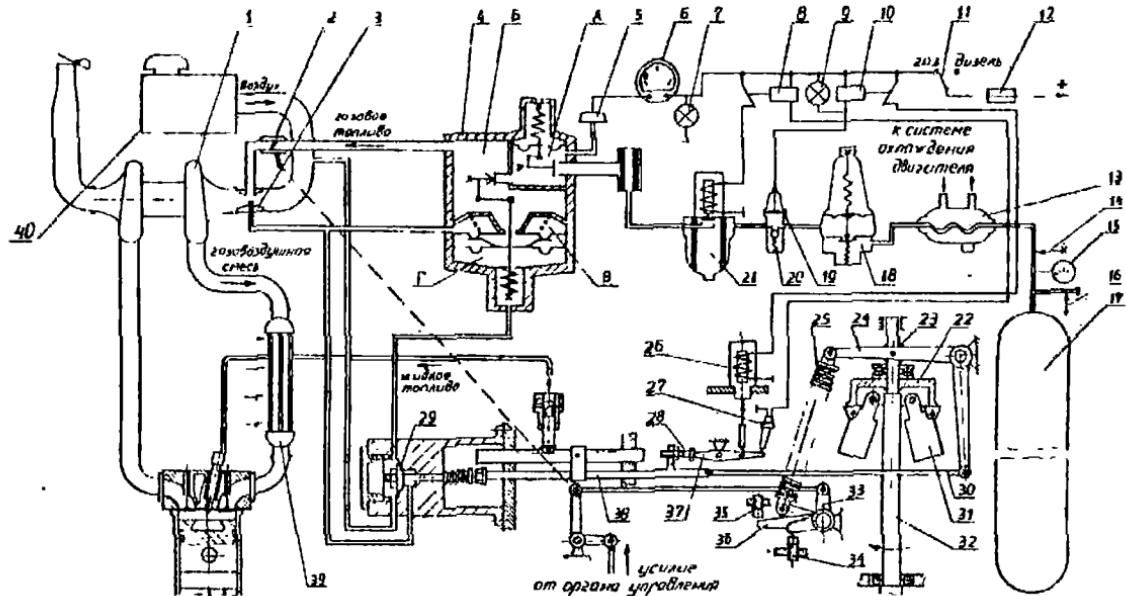


Рис 3 Схема системы топливоподачи газодизеля.

1 - турбокомпрессор; 2 - дозатор газа; 3 - смеситель, 4 - газовый редуктор низкого давления; 5 - датчик давления газа, 6 - манометр; 7 - контрольная лампа; 8 - реле; 9 - сигнальная лампа, 10 - реле; 11 - переключатель режима работы, 12 - предохранитель; 13 - подогреватель газа; 14 - расходный газовый вентиль, 15 - манометр; 16 - наполнительный вентиль, 17 - баллоны высокого давления; 18 - газовый редуктор высокого давления; 19 - датчик аварийного падения давления газа; 20 - предохранительный клапан; 21 - электромагнитный клапан; 22 - подвижная муфта, 23 - ролики; 24 - двухплечий рычаг; 25 - пружина регулятора; 26 - элек-тромагнит; 27 - выключатель, 28 - регулируемый упор, 29 - пневмомеханический клапан; 30 - тяга регулятора; 31 - грузы регулятора; 32 - вертикальный валик регулятора, 33 - наружный рычаг регулятора; 34 - регулируемый упор максимальной подачи; 35 - регулируемый упор холостого хода, 36 - трехплечий рычаг регулятора; 37 - подвижный ограничитель, 38 - тяга рейки ТНВД; 39 - промежуточный охладитель; 40 - воздухоочиститель, А - полость первой ступени газового редуктора низкого давления, Б - по-лость над диафрагмой второй ступени; В - полость разгрузочного устройства; Г - полость под диафрагмой второй ступени

всасывания под действием разряжения во выпускном тракте. Подача осуществляется перед компрессором агрегата наддува 1 при помощи смесителя 3. При движении по каналам рабочего колеса компрессора происходит интенсивная турбулизация газовоздушной смеси и за счет этого обеспечивается ее дополнительная гомогенизация. Подача жидкого топлива ограничивается при помощи упора 28, закрепленного на тяге 38 рейки ТНВД и взаимодействующего с подвижным ограничителем 37, который при включении переключателем 11 газодизельного режима устанавливается электромагнитом 26 напротив упора. Регулирование топливоподачи в условиях изменяющейся нагрузки осуществляется главным образом за счет изменения подачи газового топлива. Для осуществления автоматического управления топливоподачей при работе по регуляторным ветвям скоростных характеристик в систему включен пневмомеханический клапан 29, выполненный в виде податливого упора тяги рейки ТНВД, что позволяет управлять работой газового редуктора низкого давления (ГРНД) 4 и, тем самым, обеспечивать требуемую подачу газового топлива. В случае увеличения частоты вращения коленчатого вала сверх заданного значения, регулятор ТНВД перемещает тягу 38 рейки ТНВД на уменьшение подачи, воздействуя на шток пневмомеханического клапана 29, который сообщает полость Г под диафрагмой второй ступени ГРНД с полостью максимального разряжения в диффузоре смесителя 3. ГРНД перекрывает подачу газового топлива. При уменьшении частоты вращения коленчатого вала, регулятор перемещает тягу 38 рейки ТНВД на увеличение подачи топлива. пневмомеханический клапан 29 под воздействием пружины закрывается и подача газового топлива возобновляется.

Предусмотрена защита газодизеля от перегрузки, исключающая подачу газового топлива в случае отсутствия ограничения подачи жидкого топлива.

По данной схеме подано заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение.

В четвертой главе диссертации приведены описание объекта исследования с иллюстрацией фрагментов топливоподающей системы и общего вида газодизеля, принципиальная схема экспериментального стенда и установки датчиков; даны

характеристики газовой аппаратуры, перечень измеряемых параметров и средств измерения; описаны этапы и последовательность экспериментального исследования; выполнена оценка погрешностей измерений

Пятая глава посвящена экспериментальной оценке эффективности разработанных мероприятий по совершенствованию рабочего цикла газодизеля и проверке работоспособности системы топливоподачи

Приводятся регулировочные характеристики по относительной величине запальной порции топлива Ω . Отмечается, что уменьшение Ω сопровождается улучшением параметров экономичности и мощности, характеризуемых значениями g_e и N_e . При этом наблюдается существенный рост показателей механической нагруженности, характеризуемой величинами P_{max} и W_{pmax} , и тепловой нагруженности, характеризуемой температурой распылителя форсунки t_p . Это объясняется увеличением длительности периода задержки воспламенения и сокращением продолжительности процесса сгорания, выявленным при анализе индикаторных диаграмм, рис.4. Работа газодизеля при компромиссном угле начала подачи запального топлива $\theta_{под} = 22$ град ПКВ (обеспечивающем на жидкое топливо практически одинаковые показатели в сравнении с базовым вариантом $\theta_{под} = 24$ град ПКВ) в зоне нагрузок близких к $N_e = 88$ кВт ($P_e = 0,58$ МПа, газодизель для ДГУ-60) требует, из условия обеспечения надежности работы подшипников, газового стыка и исключения перегрева распылителя, ограничения запальной порции топлива величиной $\Omega = 0,3$.

Приводятся регулировочные характеристики по углу опережения подачи запального топлива $\theta_{под}$. Уменьшение $\theta_{под}$ позволяет добиться снижения параметров механической (W_{pmax} и P_{max}) и тепловой (t_p) нагруженности.

Снижение угла начала подачи запального топлива $\theta_{под}$ до 17 град ПКВ при использовании промежуточного охладителя позволяет достигать при $\Omega = 0,3$ и близких, в сравнении с вариантом газодизеля без ПО ГВС при $\theta_{под} = 22$ град ПКВ, значениях максимального давления газов P_{max} и температуры распылителя t_{max} мощности N_e более 100 кВт ($P_e = 0,66$ МПа).

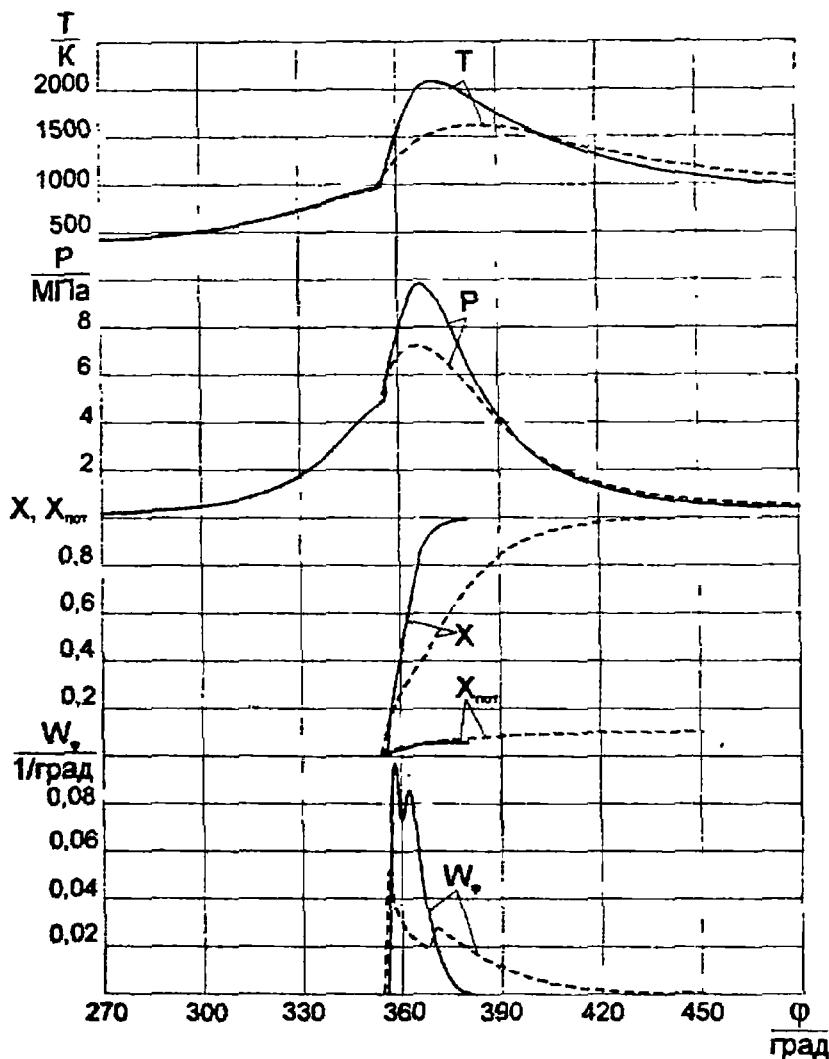


Рис. 4. Индикаторные диаграммы давления Р и температуры Т газа в цилиндре и характеристики выгорания топлива в газодизеле:
 — газодизельный процесс, $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G_i=5,6 \text{ кг/ч}$, $\Omega=0,3$, $P_i=0,89 \text{ МПа}$.
 - - - дизельный процесс, $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $G_i=5,6 \text{ кг/ч}$, $P_i=0,87 \text{ МПа}$

Применение распылителя с уменьшением до $i_c = 3$ количеством топливоподающих отверстий в газодизеле с промежуточным охлаждением газовоздушной смеси на режиме номинальной частоты вращения $\nu = 1250 \text{ мин}^{-1}$ при мощности $N_e = 140 \text{ кВт}$ ($P_e = 0,93 \text{ МПа}$, газодизель для ДГУ-100) позволяет уменьшить максимальное давление газов P_{\max} на $0,8 \text{ МПа}$.

Сравнительный анализ изменения параметров рабочего цикла в дизельном и газодизельном режимах проводился при работе двигателя по нагрузочной характеристике, рис.5. По мере увеличения нагрузки, в газодизельном режиме, в сравнении с дизельным, наблюдается превышение показателей механической ($W_{p_{\max}}$ и P_{\max}) и тепловой (t_p) нагруженности элементов, образующих внутрицилиндровое пространство, что не позволяет достигать в газодизельном режиме уровня мощности более 90 кВт ($P_e = 0,6 \text{ МПа}$).

При реализации газодизельного цикла, на режимах внешней скоростной характеристики, рис.6, двигатель работает устойчиво. В диапазоне частот вращения $\nu = 1250...1320 \text{ мин}^{-1}$ происходит автоматическое регулирование подачи топлива, обеспечивается степень неравномерности частоты вращения коленчатого вала идентичная таковой в базовом дизеле.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Использование газового топлива в тракторном дизеле с наддувом возможно путем конвертирования его в газодизель с комбинированным смесеобразованием и обосновано при применении природного газа.

2. Адаптация методики синтеза для моделирования рабочего цикла газодизеля с комбинированным смесеобразованием выполнена посредством учета характеристик двухкомпонентного топлива, особенностей его физико-химических свойств в модифицированном уравнении динамики процесса горения, специфики математического описания характеристик сложного вида выгорания топлива.

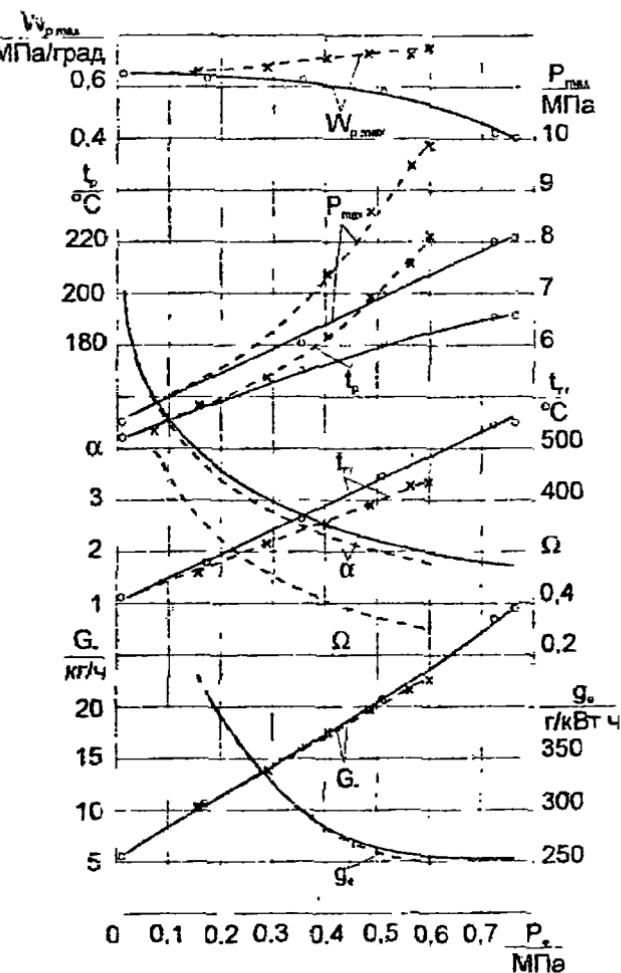


Рис. 5. Нагрузочная характеристика газодизеля без промежуточного охлаждения газовоздушной смеси:
 $n=1250 \text{ мин}^{-1}$. $\theta_{\text{max}}=22 \text{ град ПКВ}$. $G_i=7.8 \text{ кг}/\text{ч}$. $\varepsilon=14.5$.
— дизельный процесс. - - - газодизельный процесс

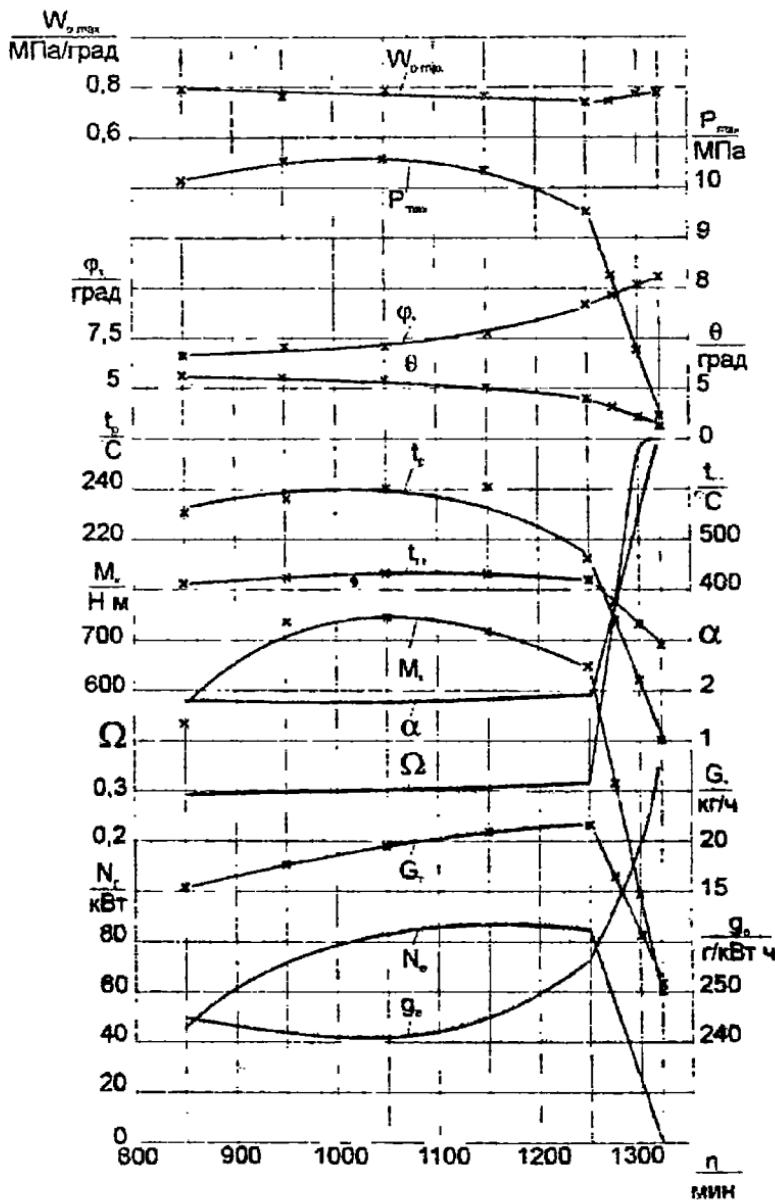


Рис. 6. Внешняя скоростная характеристика газодизеля без промежуточного охлаждения газовоздушной смеси

$$\theta_{\text{рез}} = 22 \text{ град ПКВ}, G_i = 7.8 \text{ кг/ч}$$

3. Впервые получены кинетические константы для синтеза рабочего цикла газодизеля с камерой сгорания ЦНИИДИ, которые на режиме $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 0,58 \text{ МПа}$ (газодизель для ДГУ-60) при относительной величине запальной порции топлива $\Omega = 0,3$ характеризуются, в сравнении с дизельным процессом, сокращением продолжительности процесса сгорания φ_2 и начального его периода φ_0 на 60...70%, увеличением показателей характера сгорания в начальном периоде на 0,25 и в основном на 0,3 единицы

4. Установлено, что при замещении жидкого топлива газообразным продолжительность процесса сгорания φ , в газодизеле с наддувом и камерой сгорания ЦНИИДИ сокращается, в сравнении с дизельным процессом, почти пропорционально уменьшению относительной величины запальной порции топлива Ω

5. Установлено, что особенности процессов воспламенения и сгорания двухкомпонентного топлива определяют рост тепломеханической нагруженности в газодизеле, в связи с чем необходимо его дефорсирование в сравнении с дизелем на 25%. Теоретический анализ позволил рекомендовать для снижения тепломеханической нагруженности: ограничение относительной величины и уменьшение угла опережения подачи запальной порции топлива, промежуточное охлаждение газовоздушной смеси, уменьшение числа сопловых отверстий распылителя и снижение степени сжатия.

6. Модернизация топливоподающей системы дизеля при конвертировании его в газодизель с комбинированным смесеобразованием осуществлена подачей газового топлива перед компрессором под воздействием разряжения во впускном тракте с последующим принудительным перемешиванием ранее объединенных газового и воздушного потоков; применением механизма дистанционной установки абсолютной величины запальной порции жидкого топлива; использованием автоматического регулирования подачи газового топлива редуктором низкого давления, которое осуществляется с учетом управляющих сигналов пневмомеханического клапана, открываемого регулирующим органом ТНВД. Система обеспечи-

вает требуемый вид регуляторной ветви внешней скоростной характеристики и степень неравномерности регулятора идентичную таковой у дизеля.

7. Установлено, что газодизель с разработанной системой топливоподачи может использоваться для генераторных установок ДГУ-60 при ограничении относительной величины запальной порции топлива значением $\Omega = 0,3$ и компрессорном угле начала подачи запального топлива $\theta_{\text{под}} = 22$ град ПКВ, что позволяет сохранить основные показатели газодизеля в дизельном режиме практически на уровне базового дизеля. Снижение относительной величины запальной порции топлива $\Omega < 0,3$ возможно при уменьшении угла начала ее подачи и требует повышения равномерности подачи жидкого топлива по цилиндрам.

8. Теоретически и экспериментально установлено, что на режиме $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 0,58 \text{ МПа}$ замещение 70% жидкого топлива газовым сопровождается увеличением максимального давления газов в цилиндре P_{max} на 30%, максимальной быстроты нарастания давления $W_{p_{\text{max}}}$ на 34%, температуры распыльителя форсунки t_p на 16%; снижением температуры отработавших газов t_r на 12% и удельного эффективного расхода g_e двухкомпонентного топлива на 2,5%.

9. Теоретически и экспериментально установлено, что уменьшение угла начала подачи запального топлива $\theta_{\text{под}}$ до 17 град ПКВ на режиме $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 0,58 \text{ МПа}$ при $\Omega = 0,3$ позволяет снизить максимальное давление цикла P_{max} на 10%, максимальную быстроту нарастания давления $W_{p_{\text{max}}}$ на 15% и температуру распыльителя форсунки t_p на 17%.

10. Экспериментально установлено, что форсирование газодизеля до уровня $P_e = 0,93 \text{ МПа}$, требуемого в генераторной установке ДГУ-100, на режиме名义ной частоты вращения $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$ при относительной величине запальной порции топлива $\Omega \leq 0,3$ невозможно только за счет использования промежуточного охлаждения газовоздушной смеси и уменьшения угла начала подачи запального топлива и дополнительно требует уменьшения числа сопловых отверстий распыльителя в газодизельном режиме и степени сжатия. Применение распыльителя с

тремя сопловыми отверстиями позволяет на требуемом режиме при $\theta_{ход}=17$ град ПКВ снизить максимальное давления цикла P_{max} на 7%.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Особенности рабочего процесса, учитываемые при конвертации тракторного дизеля в газодизель для ДГУ / К.П. Седелев, А.А. Малоземов, В.Н. Бондарь и др. // Двигатель-97: Материалы международной н.-т конф. – М.: МГТУ, 1997. – С.36...37
2. Методика синтеза рабочего цикла газодизеля с комбинированным смесеобразованием / К.П. Седелев, Д.К. Алексеев, А.Н. Лаврик и др. // Автомобильная техника. Силовые установки: Сборник науч. тр. – Челябинск: ЧВВАИУ, 1998. – Вып. 7. – С.114...123.
3. Конвертирование дизеля в газодизель для привода стационарных агрегатов различного назначения модернизацией топливоподающей системы / А.Н. Лаврик, К.П. Седелев, Е.А. Лазарев и др. // Вестник уральского межрегионального отделения академии транспорта. – Курган: Изд-во КГУ, 1998.– С.73...79.
4. Некоторые особенности рабочего цикла газодизеля / К.П. Седелев, Е.А. Лазарев, А.Н. Лаврик и др. // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин: Материалы международной конф. – Челябинск: ЧВВАИУ, 1998. – С.25.
5. Влияние регулировочных параметров топливной аппаратуры на механическую и тепловую нагруженность газодизеля / К.П. Седелев, А.А. Малоземов, А.Н. Лаврик и др. // Вестник ЧГАУ. – Челябинск: ЧГАУ, 1998. – №25 (в печати).

Седелев Константин Петрович

**КОНВЕРТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЯ С НАДТУВОМ
И ПОЛУРАЗДЕЛЕННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ В ГАЗОДИЗЕЛЬ
МОДЕРНИЗАЦИЕЙ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ!**

Специальность 05.04.02 - "Тепловые двигатели"

**Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук**

**Издательство Южно-Уральского государственного
университета**

ЛР № 020364 от 10.04.97. Подписано в печать 23.10.98. Формат
60×84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1.
Тираж 80 экз. Заказ 277/397

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