

1564775

На правах рукописи

УДК 621.436.03

Коротнев Алексей Геннадьевич

**ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ С АККУМУЛИРОВАНИЕМ
УТЕЧЕК В НАДЫГОЛОЧНОМ ОБЪЕМЕ ФОРСУНОК
МАЛОТОКСИЧНЫХ И ЭКОНОМИЧНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

05.04.02 - Тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1999

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете и Научно-исследовательском конструкторско-технологическом институте тракторных и комбайновых двигателей

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент В.И.Ивин

Научный консультант - кандидат технических наук,
доцент Л.В.Грехов

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор В.А.Марков

кандидат технических наук,
С.Н.Десянин

Ведущее предприятие - Акционерное Общество
«Владимирский тракторный
завод»

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1564775

Коротнев А.Г. Топливные си

Защита диссертации состоится «20» 12 1999 г. в
14..... часов на заседании специализированного совета К 053.15.05

107005, Москва, Лефортовская
тиностроение».

ибблиотеке МГТУ им. Н.Э.Бау-
емплярах, заверенные печатью,
07005, Москва, 2-ая Бауманская
секретарю совета К 053.15.05

1999 г.

156477

 Ефимов С.И.

рм 1,0 п.л. Тираж 50 экз.

ПЛД N 53-477

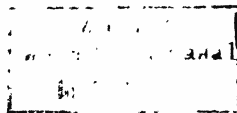
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из путей улучшения экологических, экономических показателей дизелей, работающих в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, является интенсификация процесса впрыскивания топлива и управление параметрами впрыскивания в зависимости от режима работы дизеля. Работами в этом направлении занимаются все фирмы производящие дизели, т.к. топливоподающая аппаратура (ТПА) во многом определяет их экономические и экологические показатели.

5464951
Повышения давления впрыскивания в топливной системе дизеля (ТС) возможно изменением начального ($p_{нач}$) давления в линии высокого давления (ЛВД) за счет аккумуляирования утечек в надыголочном объеме (V_n) форсунки. Интерес к подобным системам объясняется тем, что можно усовершенствовать традиционную ТС не прибегая к дорогостоящим конструктивным или технологическим мероприятиям. Предложенные устройства для прямого управления начального давления улучшают характеристики впрыскивания на отдельных режимах. Управлять начальным давлением $p_{нач}$ возможно путем регулирования давления в надыголочном объеме (p_n), который связан с линией низкого давления (ЛНД) ТС. В представленной работе выполнено исследование процессов в ТПА с аккумуляированием утечек в надыголочном объеме форсунки, на базе которого предложены эффективные способы управления p_n и $p_{нач}$. Поэтому актуально проведение исследований в данном направлении, результат которого явились бы инструментом для конструирования систем топливоподачи с аккумуляированием утечек в надыголочном объеме и методики обоснования оптимального варианта.

Цель работы. Повышение экономических и экологических показателей дизелей путем совершенствования топливной системы за счет применения аккумуляирования топлива в надыголочном объеме форсунки, обеспечивающего повышение давления впрыскивания в широком диапазоне режимов работы дизеля.

Методы исследования. Использовались расчетные и экспериментальные методы исследования. Расчетно-теоретическое исследование процессов в топливной системе выполнено с применением компьютерной технологии и предназначено для анализа и оптимизации конструкционных и термодинамических параметров макетного образца ТС. Экспериментальные исследования ТПА выполнены методом индицирования действительного давления с высокочастотными пульсациями на безмоторном топливном стенде. Экспериментальные исследования макетного образца выполнены в стендовых испытаниях натурных образцов дизелей 2410,5/12 (Д-120 АО ВТЗ), 247,6/8 (Д18А, НИКТИД) и 4СН11/12,7 (Perkins, Англия). Определялись показатели термодинамической эффективности двигателей и токсичность отработавших газов.



Научная новизна. Реализована переработанная и дополненная математическая модель и компьютерная программа гидродинамического расчета ТС с аккумулярованием утечек в надыголочном объеме, учитывающая расчет перетечек топлива по зазору игла - корпус распылителя при повышенных давлениях. Достоверность результатов расчета ТС обеспечивается сходимостью одновременно по трем критериям: цикловой подаче ($q_{ц}$), начальному давлению $p_{нач}$ и давлению в надыголочном объеме p_n . Выявлены условия работоспособности ТПА с замкнутым надыголочным объемом (ЗНО), способы ее обеспечения и оценена возможность улучшения топливopодачи этими системами. Практически подтверждена возможность использования аккумулярования утечек в надыголочном объеме значительной интенсификацией впрыскивания топлива в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов работы дизеля. Экспериментально подтверждено влияние повышения давления в надыголочном объеме на улучшение экономических и экологических показателей автотракторных дизелей при оборудовании их ТС с аккумулярованием утечек в надыголочном объеме.

Практическая ценность. Разработан и исследован макетный образец ТС с аккумулярованием топлива в надыголочном объеме. Экспериментально подтверждено снижение расхода топлива (g_c), токсичности и дымности ОГ дизеля, имеющего разработанную ТС, в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов.

Математическая модель и компьютерная программа гидродинамического расчета ТС с аккумулярованием утечек топлива в надыголочном объеме позволяет на стадии проектирования оптимизировать конструкционные и термодинамические параметры ТС.

Разработанная ТС обеспечивает регулирование давления p_n , что дает возможность осуществлять управление давлением впрыскивания ($p_{впр}$) и продолжительностью процесса подачи топлива ($\varphi_{впр}$), с целью снижения выбросов вредных веществ (ВВ).

Изготовлены детали опытного образца предлагаемой ТС для дизеля 2410,5/12 (Д-120), обеспечивающие улучшение экономических и экологических параметров двигателя.

Реализация результатов работы. Результаты работы использовались при разработке ТС дизеля 2410,5/12 (Д-120) и малотоксичного дизеля 4ЧН11/12,5 (Д-245.12с) Минского моторного завода. Система с регулируемым давлением впрыскивания принята для опытных работ на ОАО «Заволжский моторный завод», материалы исследований используются в курсовом проектировании по топливным системам ДВС в МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Апробация работы. Результаты работы подавались на 6 Научно-практическом семинаре «Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС» (Владимир 1997г.), на Международной научно-технической конференции «Двигатель 97» (Москва, 1997г.), на 3-й Ме-

ждународной научно-технической конференции «Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе» (Москва, 1999г.), а также на заседании кафедры «Поршневые и комбинированные двигатели» МГТУ им. Н.Э.Баумана (1996-1998), на заседании НТС НИКТИД (г.Владимир) 1998.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 5 печатных работах. и 1 авторском свидетельстве.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы 150 страниц, включая 117 страниц основного текста, содержащего 39 рисунков, 16 таблиц. Список литературы включает 86 русских и 29 иностранных источников на 14страницах, приложения на 10страницах, включая документы о внедрении результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит общую характеристику работы.

В первой главе проведен анализ требований к дизелям в современных условиях. Сделан вывод о том, что требования по токсичности в настоящее время становятся приоритетными.

Успешное решение задачи улучшения экологических и экономических показателей дизеля возможно за счет совершенствования ТПА путем повышения давления и сокращения продолжительности впрыскивания. Показано, что увеличение давления впрыскивания топлива приводит к снижению токсичности и дымности ОГ к уменьшению расхода топлива дизеля. Проведен обзор средств и методов повышающих $r_{впр}$ в ТС.

На основании работ Астахова И.В., Кутового В.А., Роганова С.Г., Леонова О.Б., Патрахальцева Н.П., и др. ученых делается вывод о том, что увеличение начального давления $p_{нач}$ в ЛВД обеспечивает повышение $r_{впр}$. Повышение $p_{нач}$ достигается за счет использования аккумулирующего замкнутого надьоголочного объема (ЗНО). При повышении давления в этом объеме возрастают $p_{нач}$ и $r_{впр}$. Увеличение $r_{впр}$ приводит к росту дальнобойности, снижению среднего диаметра капель, продолжительности впрыскивания, улучшает процесс смесеобразования и использования воздушного заряда в процессе сгорания. Повышается равномерность и стабильность впрыскивания в широком диапазоне работы ТПА, моторесурс распылителя, используются топлива широкого фракционного состава. Возрастание $p_{нач}$, $r_{впр}$ в ТС благоприятно сказывается на работу дизеля снижается g_e , выбросы оксидов углерода (СО), углеводородов (СН) и дымность. Уменьшение $\phi_{впр}$ при возрастании $r_{впр}$ дает возможность уменьшать угол опережения впрыскивания (УОВ), что приводит к снижению выбросов оксидов азота (NOx). Увеличение $p_{нач}$ и $r_{впр}$ позволяет увеличить скорость подачи топлива в начальный и конечный фазах впрыскивания, что уменьшает выбросы СН, СО и дымности.

Однако в ТС с ЗНО, может произойти чрезмерный рост давления над иглой p_n . Это снижает цикловую подачу $q_{ц}$, вплоть до полного ее прекращения «гидроакклинивание». Такие ТС с ЗНО приходится усложнять различными устройствами ограничивающими рост p_n , процессы происходящие в таких ТС недостаточно исследованы, что ограничивает их применение в ТС дизелей. На основе проведенного анализа различных конструктивных схем ТС с ЗНО выявлено, что наилучшими свойствами по работоспособности обладают ТС, в которых установлен предельный клапан (ПК).

В представленной работе ставятся следующие научные и практические задачи:

1. Создание математической модели, программы и проведение расчетных исследований ТС с аккумулярованием топлива в надыгольном объеме в широком диапазоне режимов ее работы, определение конструктивных и регулировочных факторов наиболее влияющих на процессы ТС.

2. Исследование на безмоторном стенде ТС с аккумулярованием топлива в надыгольном объеме с целью подтверждения ее работоспособности, оптимизации конструктивных и регулировочных показателей ТС, определения реальных параметров ТС и сравнение предложенной ТС с традиционной.

3. Оценка влияния опытной ТС с аккумулярованием топлива в надыгольном пространстве на показатели токсичности и расхода топлива различных дизелей при проведении испытаний натурных образцов.

Во второй главе изложена методика гидродинамического расчета процесса подачи топлива и представлены результаты расчетных исследований. Схема предложенной ТС показана на рис. 1. Ее особенностью является наличие замкнутого надыгольного объема 1, в котором аккумулируется утечки топлива, просочившегося через зазор между корпусом и иглой распылителя. В надыгольном объеме может быть установлен предельный клапан 2 (ПК) для ограничения максимального давления, которое контролируется манометром 3 и устанавливается регулятором давления 4. В этом случае ТС с аккумулярованием утечек а надыгольном объеме (АУ) трансформируется в ТС с ПК. При работе ТС с АУ часть топлива из нагнетательной магистрали перетекает в надыгольный объем через зазор в прецизионной паре корпус-игла распылителя. В надыгольном объеме повышается давление, которое дополнительно нагружает иглу форсунки, а между циклами впрыскивания - подпитывает ЛВД.

Математическая модель процесса топливоподачи базируется на методике разработанной И.В.Астаховым, дополненной и получившей развитие в работах Л.Н.Голубкова., Т.Ф.Кузнецова, Ю.Я.Фомина и др. Методика базируется на аналитическом решении Д'аламбера и обладает многочисленными достоинствами, в т.ч. отсутствием размывания волны и схемной вязкости, безусловной устойчивостью и адекватностью реальному процессу при умеренных давлениях подачи. На базе этой методики разработаны алгоритм и

программа для моделирования и исследования процессов топливоподачи в ТС дизелей с АУ.

Движение топлива в нагнетательном трубопроводе описывается уравнениями движения и неразрывности для одномерного энергоизолированного течения. Используя решение волнового уравнения в форме Д'Аламбера, и поправку на гидродинамическое трение Т.Ф.Кузнецова и начальные условия $p=p_{нач}$, $U_{нач}=0$

$$\left. \begin{aligned} p_x &= p_{нач} + F(t - \frac{x}{a}) \exp(-K \frac{x}{a}) - W(t - \frac{L_{мп} - x}{a}) \exp(-K \frac{L_{мп} - x}{a}) \\ U_x &= [F(t - \frac{x}{a}) \exp(-K \frac{x}{a}) + W(t - \frac{L_{мп} - x}{a}) \exp(-K \frac{L_{мп} - x}{a})] \frac{1}{a\rho} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для уточнения расчетов в программу введен учет местных сопротивлений входа-выхода на концах трубопровода. Для случаев втекания в трубопровод и вытекания из него соответственно имеем:

$$P_{мп} = P_v - 0,25U^2; P_{мп} = P_v + 0,5U^2. \quad (2)$$

Уравнения граничных условий в полостях ТПА задаются уравнениями объемного баланса, для форсунки уравнения имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_\phi}{dt} &= \frac{1}{V\beta} [U_\phi f_\phi - Q_\phi - Q_{ym}^{расп} - f_u \frac{dx_u}{dt}] \\ \frac{dp_u}{dt} &= \frac{1}{V\beta} [Q_{ym}^{расп} - Q_{клав} + f_u \frac{dx_u}{dt}] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где V - объем полости;

f_ϕ, f_u - проходное сечение форсунки, зазора в распылителе;

β - эффективный коэффициент сжимаемости топлива;

$Q_\phi, Q_{ym}^{расп}, Q_{клав}$ - объемный расход топлива через форсунку, зазор в распылителе, предельный клапан.

Если считать течение топлива в зазоре как ползущее течение и сложное: под действием напора (течение Пуазейля) и одной движущейся стенки (течение Куэтта), считая также, что радиальный зазор $\delta < \epsilon$, а также используя эмпирическую зависимость вязкости топлива от давления Д.Н.Вырубова: $\eta_p = \eta_0 \cdot c^{p/p_0}$, для условий повышенного давления над иглой получаем соотношение для расчета утечек:

$$Q_{ym}^{расп} = \frac{\pi}{12} \frac{d_\tau \delta_\tau^3}{l_\tau} \frac{(P_k - P_i)^2}{P_0^2} \frac{\ln c_\eta}{\eta_0 (c_\eta^{P_i/P_0} - c_\eta^{P_k/P_0})} + \frac{\pi U_\tau d_\tau \delta_\tau}{2}, \quad (4)$$

где: d_τ, l_τ, U_τ - диаметр, длина уплотняющей части и скорость цилиндрического тела;

P_i, P_k, P_0 - давление в данной полости, в полости, в которую происходят перетечки, атмосферное давление,

η_0, c_η - динамическая вязкость топлива при атмосферном давлении и коэффициент в уравнении динамической вязкости.

Учитывается изменение физических свойств топлива плотности, вязкости и сжимаемости в зависимости от давления и температуры.

Особенностью методики расчета предлагаемой ТС является то, что контроль сходимости численного решения на базе условия цикличности ведется по трем параметрам: цикловой подаче топлива $q_{ц}$, начальному давлению в ЛВД $p_{нач}$, а в ТС с ЗНО - по давлению в надыголочном объеме.

$$\begin{aligned}
 h_{n|k+1}^{акт} &= h_{n|k}^{акт} + \frac{g_{задан}^{действ} - g_{цикл}^{действ}}{f_{пл} \rho \phi} \cdot k_{демпф} k_{прогр} \cdot \\
 P_{na_{k+1}} &= P_{na_k} + \frac{g_{кл}^{действ} - g_{цикл}^{действ} - g_{\phi}^{ум}}{\beta_{p_{на}} V_{ЛВД} \rho_{тр}} \cdot k_{демпф} k_{прогр} \cdot \\
 P_{u_{k+1}} &= P_{u_k} \frac{\frac{1}{6n_{кул}} \int_0^{2\pi} Q^{ум} d\phi}{\beta_{p_u} V_u} \cdot k_{демпф} k_{прогр}.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Каждый дополнительный критерий сходимости увеличивает время счета, но обеспечивает достоверность полученных результатов и позволяет расширять применение программы для различных ТС. Для повышения устойчивости итерационного процесса и ускорения сходимости в выражении (5) введены коэффициент демпфирования и коэффициент прогрессивного его уменьшения при возникновении колебаний в ходе решения.

С помощью разработанных алгоритма и программы для моделирования и исследования процессов топливоподачи дизелей были проведены расчетные исследования традиционных ТС и ТС с аккумулярованием утечек в надыголочном объеме (АУНО). В штатных ТС (ШТС) увеличение максимального давления впрыскивания в два раза достигается за счет увеличения диаметра плунжера ($d_{пл}$), давления начала впрыскивания ($p_{фо}$), уменьшения эффективного проходного сечения распылителя (μf_p), объема трубопровода высокого давления (ТВД) за счет уменьшения длины ($L_{тр}$) и внутреннего диаметра ТВД ($d_{вн}$). Однако, надежность ТС резко ухудшается, т.к. в два раза возрастают максимальные контактные напряжения (σ_k^{max}) в паре кулачок-толкатель плунжера.

Варианты ТС с АУНО выполняют с ЗНО и с ПК. В процессе расчетов выявлено, что наибольшее влияние на показатели впрыскивания в ТС с АУНО оказывает радиальный зазор (δ) в прецизионном сопряжении игла-корпус распылителя. Влияние этого параметра в ТС с ЗНО и ТС с ПК противоположно. При увеличении δ давления $p_{нач}$, $p_{д}$, p_n в ТС с ЗНО возрастают, а в ТС с ПК снижаются. ТС с АУНО позволяют использовать распылители с δ до 20 мкм, что в 2-3 раза больше зазора распылителя традиционных ТС.

В ТС с ЗНО дизеля 2410,5/12 (Д-120) с ТНВД типа НД21/2, с нагнетательными клапанами двойного действия конструкции ЦНИТА применение форсунок с ЗНО при $\delta=3\text{мм}$ и серийных конструкционных и регулировочных параметрах работоспособна и не требует дополнительного усовершенствования конструкции. ТС с ЗНО проще штатной, однако увеличение давлений в такой ТС незначительно. При увеличенном δ до 15мм ТС с ЗНО может потерять работоспособность из-за чрезмерного давления над иглой.

На показатели и работоспособность ТС с ЗНО в наибольшей степени оказывают влияние надыголочный объем $V_{и}$, давление открытия иглы форсунки $p_{фо}$, диаметр жиклера в прямом нагнетательном клапане ($d_{ж}$), частота вращения вала ТН (n) и $q_{ц}$. При увеличенных δ до 15мм и штатных $V_{и}=3\text{см}^3$ ТС с ЗНО теряет работоспособность, поэтому, надыголочный объем необходимо увеличивать в несколько раз. С повышением $p_{фо}$ возрастают перетечки топлива в ЗНО, увеличивая давление $p_{и}$, которое является дополнительной гидравлической пружиной. При $p_{фо}>20\text{МПа}$ работа ТС происходит на границе неустойчивости из-за возможности наступления гидрозаклинивания. Уменьшение $d_{ж}$ в нагнетательном клапане приводит к росту давлений в ТС с ЗНО, т.к. уменьшается разгрузка ЛВД. При $d_{ж}<0,3\text{мм}$ ТС приближается к ТС без разгружающего клапана. Такая ТС с ЗНО неработоспособна, следовательно разгрузка ЛВД в ТС с ЗНО обязательна. Уменьшение частоты вращения вала ТН увеличивает время перетекания топлива в ЗНО, что приводит к повышению $p_{и}$, $p_{нач}$, $p_{д}$, а при больших δ - к нарушению работоспособности ТС с ЗНО. Уменьшение $q_{ц}$ снижает давление $p_{и}$, т.к. уменьшаются утечки в ЗНО и давления $p_{нач}$ и $p_{д}$. Остальные параметры ТС не оказывают заметного влияния на работу ТС с ЗНО. Увеличение давлений в ТС с ЗНО достигается за счет приближения какого-либо из вышеперечисленных параметров к зоне неустойчивой работы. Чтобы не допустить гидрозаклинивания в ЗНО устанавливают ПК. Однако одно это мероприятие не приводит к существенному повышению давления, более того оно снижается.

Для получения давлений в два и более раз превышающих давления впрыскивания в ТС с ЗНО, изменена конструкция нагнетательного клапана так, чтобы исключить разгрузку ЛВД. При этом разгрузка ТС осуществляется через ПК установленный в ЗНО. Такая конструкция ТС позволяет поддерживать высокие $p_{нач}$ и $p_{д}$. В ТС с ПК $V_{и}$ не оказывает влияния на давления в ТС. Работа ТС с ПК определяется прежде всего началом срабатывания ПК. Цикловая подача $q_{ц}$ в ТС без разгружающего клапана при том же активном ходе плунжера ($h_{акт}$) возрастает и зависит от величины давления срабатывания ПК. Увеличение давления начала подъема иглы распылителя $p_{фо}$ приводит к возрастанию начального давления $p_{нач}$ и $p_{д}$. Из двух вышеперечисленных мероприятий по повышению давления в ТС с ПК предпочтительным является вариант с увеличением давления срабатывания ПК. В случае повышения давления за счет увеличения затяжки пружины иглы форсунки $p_{фо}$ возрастают

утечки через зазор в распылителе, т.к. возрастает перепад давлений. Остальные конструкционные и регулировочные факторы не оказывают столь сильного влияния на работу ТС с ПК.

Расчетами установлено, что получение высоких давлений в ТС с АУНО возможно при использовании ТНВД с меньшими $d_{пл}$, что снижает $\sigma_{\chi}^{акт}$, повышает стабильность и равномерность подачи топлива, увеличивает гидроплотность плунжерной пары

В третьей главе дано описание безмоторной экспериментальной установки и методика проведения исследований. Экспериментальные исследования топливоподающей аппаратуры, оборудованной форсунками с аккумулярованием утечек в надыголочном объеме проводились с использованием автоматизированной измерительной системы (АИС) для исследования и диагностирования топливных систем дизелей, созданной на кафедре ДВС МГТУ. АИС предназначена для сбора, обработки и вывода на внешние устройства экспериментальных данных. В состав АИС входят персональная ЭВМ типа IBM, устройство связи с объектом в стандарте КАМАК, первичные преобразователи с электронной аппаратурой и программное обеспечение АИС. Аппаратура АИС имеет три измерительных канала. Первый канал обрабатывает сигнал датчика отметки ВМТ, второй и третий каналы обрабатывают сигналы высокого давления от пьезодатчиков AVL на выходе из штуцера ТНВД и на входе в форсунку. Безмоторные испытания ТПА проводились на топливном стенде КИ15711М ГОСНИТИ, позволяющем моделировать основные показатели ТПА, а его штатные датчики частоты вращения вала и момента срабатывания стробоскопа были задействованы в АИС.

Экспериментальные безмоторные испытания проводились применительно к ТС дизеля 2410,5/12 (Д-120), включающей ТНВД распределительного типа НД21/2 с нагнетательными клапанами двойного действия конструкции ЦНИТА, ТВД и форсунку 6Т2. В качестве предельного клапана использовался максиметр, который позволял задавать в ЗНО давления от 0,1 до 40 МПа. Давление в надыголочной полости форсунки замерялось образцовым манометром класса точности 0,5. Используемая ТС (см. рис. 1) универсальна: при полностью открытом регуляторе давления 4 получается ШТС, при полностью закрытом регуляторе давления 4 - ТС с ЗНО и при фиксированном положении регулятора 4 $p_{\chi} = \text{const}$ - ТС с ПК.

Испытания ТС проводились в наиболее характерных точках работы ТС по внешней скоростной характеристике, соответствующих максимальному крутящему моменту, номинальной мощности, а также пуску и холостому ходу. Результаты испытаний ШТС и различных вариантов опытных ТС приведены на рис. 2. и таблице 1.

Величина максимального давления ШТС и ТС с ЗНО невелики, повышение давления в ТС достигалось за счет применения нагнетательного клапана без разгружающего жиклера ($d_{\chi} = 0$). Применение таких нагнетательных

клапанов в ШТС приводит к резкому возрастанию производительности ТС и заметному увеличению $p_{нач}$ и p_d . Однако, в такой ТС возникает подвпрыскивание. Установка нагнетательных клапанов с $d_{ж}=0$ в ТС с ЗНО приводит к моментальному гидрозаклиниванию. Создание избыточных давлений в ЛВД (порядка 10-40 МПа) позволяет избежать подвпрыскивания топлива, поэтому при применении нагнетательных клапанов с $d_{ж}=0$ в ТС с ПК и регулировке ПК $p_n=21$ МПа максимальное давление ТС удается повысить в 2 раза при повышенной производительности ТС.

Таблица 1

Результаты испытаний ТС с ТНВД НД 21 при $n_n=900$ об/мин

№	$Q_{ц}$	$p_{нач}$	p_{max}	p_n	Вариант ТС	Примечания
	мг/ц	МПа	МПа	МПа		
1	41,2	1,55	36	0	ШТС, $d_{ж}=0,5$ мм	
2	40,1	2,8	31,6	4	ТС с ЗНО, $d_{ж}=0,5$ мм, $L_{тр}+1,2$ м	
3	72	11,2	43	0	ШТС, $d_{ж}=0$	Подвпрыск
4	56	32,3	62	21	ТС с ПК, $d_{ж}=0$, $p_n=21$ МПа.	

АИС позволяет записывать несколько последовательных циклов впрыскивания. При наложении их друг на друга можно определить межцикловую нестабильность давления топлива. При сравнении ШТС и ТС с ПК следует отметить, что вариант ТС с ПК имеет меньшую нестабильность максимального давления в ТВД перед форсункой, хотя давление открытия иглы (первый пик) на кривой давления имеет большой разброс. Вызвано это тем, что клапан без дросселирующего отверстия, не имея направляющего обратного клапана, имеет большую нестабильность открытия из-за его перекоса. ШТС, хотя имеет стабильные показатели давления по циклам, однако разброс максимальных давлений в такой ТС больше. Отсюда можно сделать вывод, что повышенное давление в надьеголочном объеме приводит к стабилизации максимального давления впрыскивания.

ТС дизеля 2410,5/12 (Д-120) комплектуется также рядными ТНВД типа УТН-5 с грибовыми нагнетательными клапанами, поэтому аналогичные экспериментальные исследования были проведены при установке в ТС таких ТНВД и, ТНВД распределительного типа VE-BOSCH с грибовыми нагнетательными клапанами. Уровень максимального давления в ШТС с этими ТНВД приблизительно такой же, как и с ТНВД распределительного типа. Простое закрытие слива утечек (ТС с ЗНО) приводит к гидрозаклиниванию на режиме пуска и не увеличивает p_d^{max} на других режимах. При применении в ТНВД нагнетательного клапана без разгружающего пояса и ПК $p_n=20$ МПа p_d^{max} по сравнению со ШТС поднялось на 20 МПа, а производительность ТС возросла в 2 раза. Такая ТС с ПК имеет меньшую нестабильность максимального давления, чем ШТС.

При сравнении ТС с ПК следует отметить, что ТС с грибовыми нагнетательными клапанами работают значительно стабильнее. Конструкция грибовых клапанов имеет направляющую по перьям клапана, кроме того уплотнение клапана осуществляется по конической поверхности, что способствует межцикловой стабильности ТС. Наибольшую нестабильность имеют ТС с плоским нагнетательным клапаном, т.к. в конструкции отсутствует направляющая, открытие и закрытие такого клапана происходит с перекосами.

Обобщая экспериментальные данные по ТС с ПК и нагнетательными клапанами без разгружающих конструктивных элементов следует отметить, что независимо от типа ТНВД, типа его нагнетательного клапана начальные давления $p_{нач}$ ТС близки по величине, а его значение всегда больше давления над иглой $p_{и}$.

На величину $p_{нач}$ влияют конструкционные элементы ТС, находящиеся за штуцером ТНВД (ТВД, форсунка). Наибольшее влияние на величину давлений оказывают зазор δ в распылителе и давление срабатывания ПК. Зазор является своего рода жиклером между ЛВД и надыголочным объемом: чем он больше, тем меньше величина начального давления. Другие конструкционные параметры ЛВД влияют на $p_{нач}$ в меньшей степени.

На различных скоростных и нагрузочных режимах начальное давление остается весьма стабильным и для данной ЛВД хорошо обобщается простой линейной зависимостью

$$p_{нач} = 12 + 0,93 p_{и} \quad (6)$$

В четвертой главе дано описание экспериментальной моторной установки для проведения исследований эффективности ТС на работу дизеля. Экспериментальные исследования дизелей, оборудованных ТС с АУНО проводились с использованием современной измерительной и регистрирующей аппаратуры с соблюдением действующих ГОСТов. Дымность ОГ замерялась дымомером HARTRIDG (Англия) модели МК-3. Анализ токсичности ОГ производился газоанализатором непрерывного действия МЕХА-8120 фирмы HORIBA (Япония), а при испытаниях дизеля Д-18А портативным газоанализатором непрерывного действия фирмы BACHARACH-CA300NSX (США). Расчеты, проведенные по определению относительной погрешности экспериментальных измерений показали, что использование аппаратуры обеспечивает достаточную точность и достоверность результатов, отвечающую предъявленным требованиям.

Экспериментальные исследования ТС с ЗНО проводились на трех дизелях: опытном дизеле 2Ч10,5/12 (Д-120, АО ВТЗ, Россия), дизеле 4ЧН11/12,7 (PERKINS модели 110-AB, Англия) и опытном дизеле 2Ч76/80 (Д-18А, НИКТИД, Россия) с вихревой КС. Результаты сравнительных испытаний дизеля 2Ч10,5/12 (Д-120) оборудованного ШТС и ТС с ЗНО приведены на рис. 3.

Применение ТС с ЗНО с малыми давлениями над иглой не приводит к существенному изменению действительного УОВ, однако, требует коррекции цикловой подачи в сторону увеличения на режимах полных нагрузок.

Снижение токсичности и улучшение экономичности при применении ТС с ЗНО получено на безнаддувных и комбинированных дизелях, с нераздельными и с раздельными камерами сгорания.

Снижение выбросов CH_4 , CO и дымности при применении форсунок с ЗНО происходит на всех скоростных и нагрузочных режимах, особенно на малых нагрузках и на холостом ходу.

Выбросы NO_x с ОГ дизелей, оборудованных ТС с ЗНО снижаются на малых нагрузках и холостом ходу на всех испытанных образцах дизелей.

Применение ТС с ЗНО приводит к уменьшению выбросов диоксида серы SO_2 .

Удельный расход топлива с экспериментальной системой уменьшается на всех скоростных и нагрузочных режимах, особенно на малых нагрузках.

Улучшение показателей дизелей, оборудованных ТС с ЗНО, объясняется увеличением давления впрыскивания, а при окончании впрыскивания более быстрой и четкой посадкой иглы, что уменьшает выбросы токсичных компонентов.

Экспериментальные моторные исследования ТС с ПК проводились на двигателе Д-120 (АО ВТЗ). Испытания проходили по программе 13-ти ступенчатого цикла Правил ЕЭК ООН №49-02 со ШТС и ТС с ПК при штатном УОВ $\theta=29^\circ$ до ВМТ и $p_n=20\text{МПа}$, кроме того определялось влияние давления срабатывания ПК на экономические и экологические показатели дизеля на режимах максимального крутящего момента и номинальной мощности при $\theta=29^\circ$ до ВМТ и $\theta=24^\circ$ до ВМТ. Результаты испытаний приведены на рис. 4, 5.

Удельный расход топлива, дымность и концентрация CO у ТС с ПК лучше по сравнению со ШТС. На режиме $M_{кр\max}$ расход топлива уменьшился на $10,9\text{г/кВт ч}$ или $4,3\%$, дымность в 2 раза, выбросы CO на 950ppm или 28% . Такой результат с опытной ТС объясняется увеличенным давлением впрыскивания, сокращением продолжительности подачи топлива, а также возрастанием давления начала и конца впрыскивания. Эти факторы приводят к снижению диаметра капель в струе распыленного топлива, к улучшению процесса сгорания и к улучшению g_e , N , W_{co} . При улучшении процесса сгорания выбросы NO_x с ОГ дизеля у опытной ТС возрастают на режиме $M_{кр\max}$ на $7,4\%$ или 130ppm . На режиме $N_{ном}$ улучшение показателей работы дизеля с опытной ТС на всех нагрузочных режимах также сохраняется, но в меньшей степени. Расчет удельных выбросов по 13-ти ступенчатому циклу у ТС с ПК показал снижение удельных выбросов CO на $17,7\%$ и увеличение удельных выбросов NO_x на $6,3\%$ по сравнению со ШТС.

С увеличением давления p_n (см. рис. 5) показатели удельного расхода топлива, дымности, концентрации CO и NO_x улучшаются. С уменьшением θ

до 24° до ВМТ показатели N , W_{co} и g_e на номинальном режиме ухудшаются, оставаясь однако лучше, чем при ШТС с $\theta=29^\circ$ до ВМТ. Тенденция к снижению этих параметров при увеличении p_n сохраняется. Выбросы NO_x от уменьшения УОВ заметно снижаются. Некоторое снижение концентрации NO_x с $\theta=24^\circ$ до ВМТ при увеличении p_n может быть объяснено тем, что на этих режимах уменьшается максимальная температура цикла.

Управляя работой ПК (давлением p_n) и УОВ можно добиться снижения удельных выбросов ВВ с ОГ дизеля (см. табл.2).

Таблица 2

Удельные выбросы ВВ с ОГ дизеля Д-120 с опытной ТС при различных p_n и УОВ

ТС	θ	p_n	g_{co}	Δg_{co}	g_{no}	Δg_{no}
	°доВМТ	МПа	г/кВт·ч	%	г/кВт·ч	%
ШТС	29	0	14,7	-	19,2	-
ТС с ПК	29	20	12,1	-17,7	20,5	+6,3
ТС с ПК	24	15	11,3	-23	16,8	-12,5
ТС с ПК	24	20	10,1	-31	17,4	-9,4
ТС с ПК	24	Мкр $p_n=25$ МПа Ne $p_n=20$ МПа	10,4	-29	16,3	-15,1

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Созданы и реализованы на ЭВМ алгоритм и программа расчета ТС с аккумулярованием утечек в надыголочном объеме.

2. ТС с ЗНО по сравнению с традиционными упрощают конструкцию ТС, но устойчивая их работа возможна при небольших (1-3 МПа) давлениях в ЗНО. Увеличение давления впрыскивания в 2 раза и устойчивая работа ТС в широком поле скоростных и нагрузочных режимов достигается при применением ТС с ПК и нагнетательных клапанов в ТС без разгружающего эффекта.

3. В результате проведенных расчетных исследований выявлено, что наибольшее влияние на параметры ТС с АУНО оказывает зазор между иглой и корпусом распылителя. Влияние δ на $p_{впр}$ в ТС с ЗНО и ТС с ПК противоположно. С увеличением δ в ТС с ЗНО давление $p_{впр}$ возрастает, в ТС с ПК - уменьшается.

4. Исследованиями на безмоторном стенде показано, что давление $p_{впр}$ в ТС с ЗНО увеличивается незначительно по сравнению со ШТС. В ТС с ПК по сравнению со ШТС и ТС с ЗНО давление $p_{впр}$ повышается в 2 раза, сокращается $\Phi_{впр}$, устраняется подвпрыскивание, улучшается межцикловая стабильность давления топлива. Величина давлений $p_{нач}$, $p_{впр}$ ТС с ПК зависит от характеристик элементов ЛВД за нагнетательным клапаном ТНВД, зазора δ в распылителе и давления срабатывания ПК.

5. Исследованиями на дизелях автотракторного назначения установлено, что применение ТС с ЗНО приводит к уменьшению $q_{ц}$ на полных нагрузках до 16%, к незначительному улучшению экономических и экологических показателей дизелей на частичных режимах и холостом ходу.

6. Исследования работы дизеля 2410,5/12 (Д-120 АО ВТЗ) с ТС снабженной ПК подтвердили улучшение экономических и экологических показателей дизеля в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов. Установлено, что использование ТС с ПК на дизеле Д-120 при неизменных УОВ и $p_{и}$ позволило снизить на $M_{кр_{max}}$ удельный расход топлива на 10,9г/кВт ч или на 4.3%, дымность в 2 раза, выбросы СО на 950ppm или на 28%. На $Ne_{ном}$ ge уменьшилось на 6,2г/кВт ч (2,4%), дымность в 1,6 раза, выбросы СО на 114ppm (7,9%). Выбросы NOx на этих режимах возросли соответственно на 6,3 и 1,1%. Уменьшая УОВ на 5° и применяя регулировку давления ПК снижаются удельные выбросы ВВ по оксидам углерода на 29% и по оксидам азота на 15%.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Грехов Л.В., Ивин В.И., Коротнев А.Г. Новые возможности топливной аппаратуры с аккумулярованием утечек в надыгольном объеме // Международная научно-техническая конференция «Двигатель-97»: Материалы конференции. - М., 1997. - С. 102-103.

2. Грехов Л.В., Коротнев А.Г. Применение на быстроходном дизеле топливной аппаратуры с аккумулярованием утечек в надыгольном объеме // Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС: Материалы 6 Международного научно-технического семинара. - Владимир, 1997. - С. 110-111.

3. Грехов Л.В., Коротнев А.Г. Результаты исследования экономических и экологических показателей дизеля при использовании топливной аппаратуры с аккумулярованием утечек в надыгольном объеме // Известия вузов. Машиностроение. - 1997. - № 10-12. - с. 10-15.

4. Улучшение экологических и экономических показателей дизеля при аккумуляровании топлива в надыгольной полости форсунки / Л.В.Грехов, В.И.Ивин, А.Г.Коротнев и др. // Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе: Тезисы док. 3-й Международной научно-технической конференции 26-28 января 1999г. - М., 1999 - С. 177.

5. Улучшение экологических и экономических показателей автотракторных двигателей интенсификацией впрыска методом аккумулярования утечек в надыгольной полости / Л.В.Грехов, В.И.Ивин, А.Г.Коротнев и др. // Тепловые двигатели. -1999. -№2. -С.33-36.

6. А.с. 1617166 СССР, МКИ2 F02В 23/06 Двигатель внутреннего сгорания /А.Г.Коротнев, В.Н.Листовский //Открытия, изобретения....-1990.-№48.

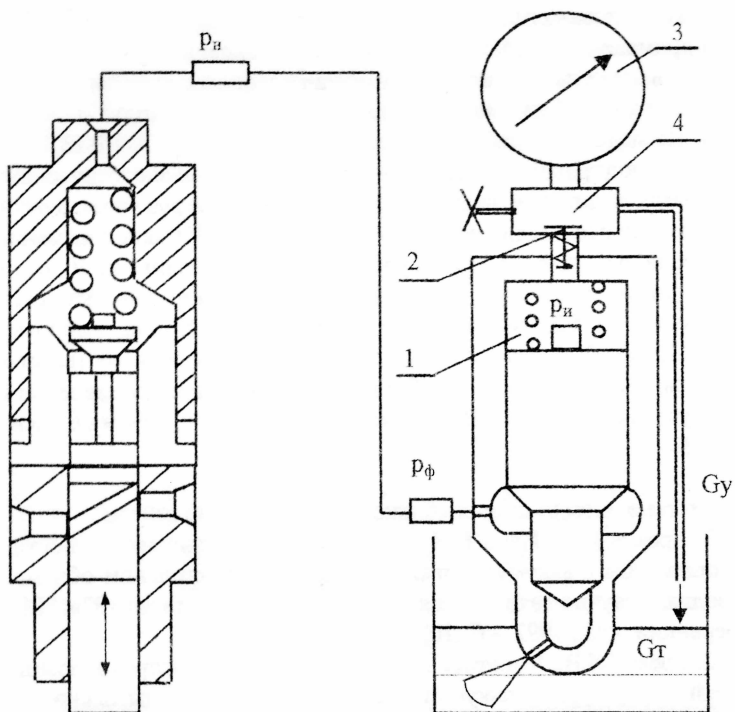


Рис. 1. Принципиальная схема ТС с аккумулярованием утечек в надыголочном объеме форсунки:
1-надыголочный объем; 2-предельный клапан;
3-манометр; 4-регулятор давления

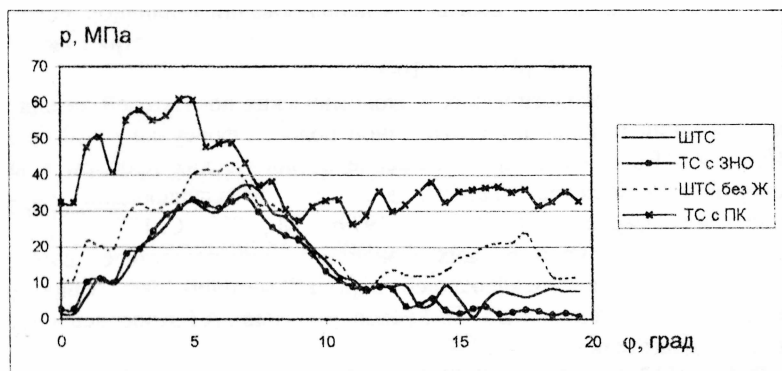


Рис.2. Зависимость давления топлива перед форсункой при различных ТС с ТНВД НД21/2

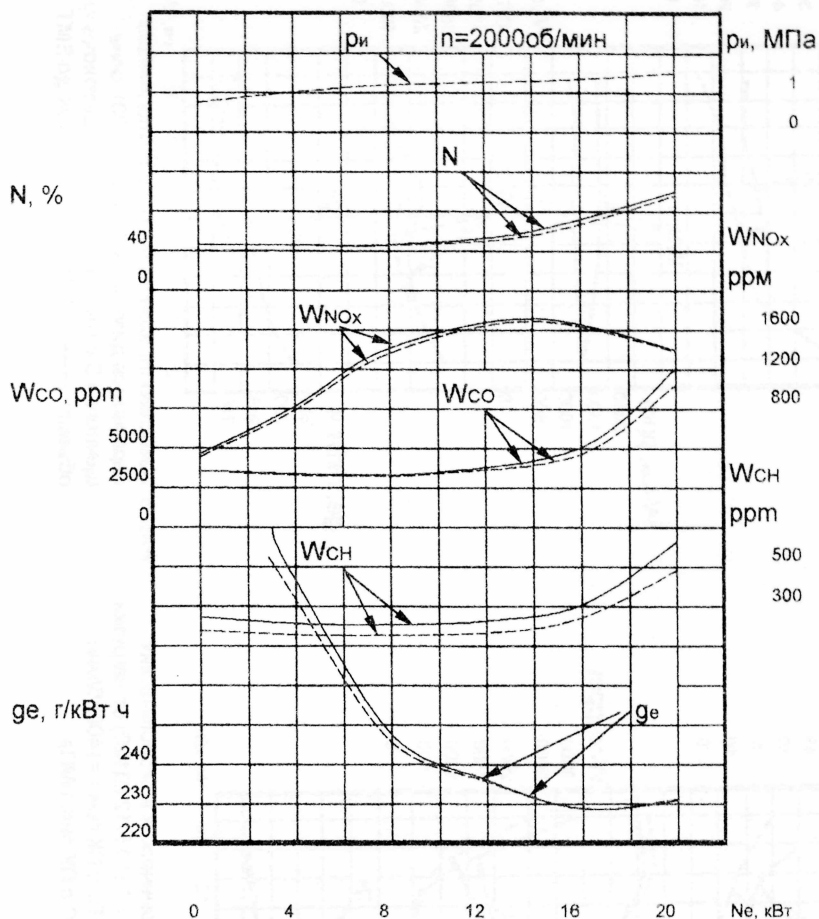


Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива и экологических показателей дизеля 2Ч10,5/12 (Д-120), оснащенного штатной ТС и ТС с ЗНО от нагрузки при $n=2000$ об/мин:

— ШТС; - - - - ТС с ЗНО

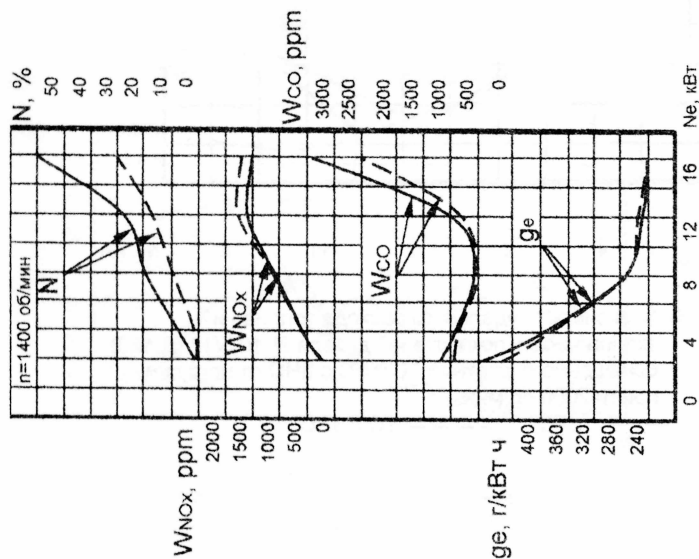


Рис. 4. Зависимость экономических и экологических параметров дизеля 2410.5/12 (Д120) от нагрузки при штатной ТС и ТС с ПК при $p=1400$ об/мин: — ШТС; --- ТС с ПК $p=20$ МПа

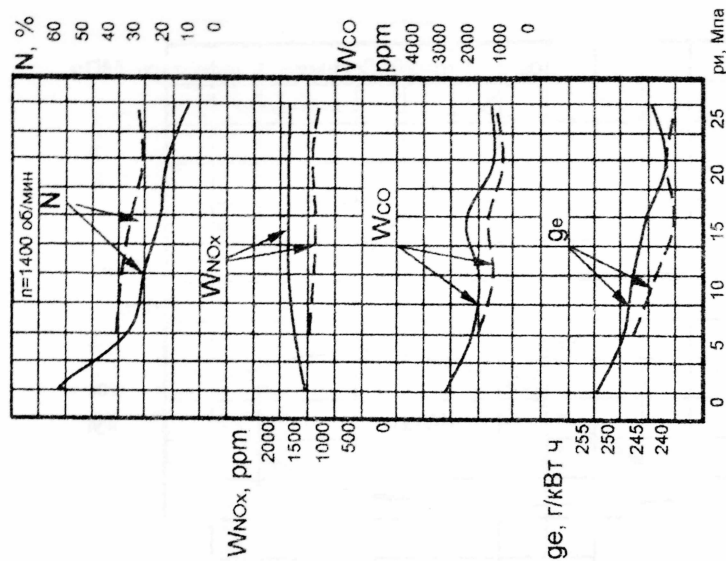


Рис. 5. Зависимость экономических и экологических параметров дизеля 2410.5/12 (Д-120), оснащенного ТС с ПК от давления в надголовочном объеме: — $\theta=29^\circ$ до ВМТ; --- $\theta=24^\circ$ до ВМТ