

7
На правах рукописи
УДК 621.436.038.8 (88.8)

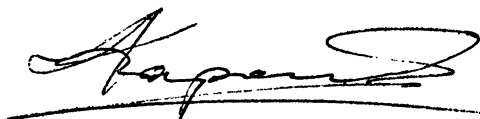
КАРАКАЕВ Абылхан Космурзаевич

**РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ
И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМ ЗАПИРАНИЕМ ФОРСУНОК**

Специальность 05.04.02 – тепловые двигатели

**А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук**

Москва 2002

1


Работа выполнена
в
Павлодарском Государственном Университете им. С. Торайгырова.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Голубков Л.Н.
Доктор технических наук, профессор Леонов И.В.
Доктор технических наук, профессор Марков В.А.

Группа: 1600065

Каракаев А.К.
Разработка и
совершенствование
дизельных топливных систем
с гидравлическим и гидром...
2002

Защита
диссертацион
техни
105

Корпус научно-у

0-00

2.12.03 5878

ов на заседании
ком государственном
ана по адресу:
ежная, дом 1,
роение», аудитория 331Э.

1600065

Н.Э. Баумана.

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

су:
ИГТУ,
141.09.

Тумашев Р. З.

Тир. 100.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Учитывая технологическую сложность изготовления и высокую стоимость производства, техобслуживания и ремонта, важными направлениями развития топливных систем (ТС) являются повышение срока службы и упрощение их с простыми устройствами для управления и регулирования процессом впрыскивания топлива (ПВ). При форсунках с гидрозапиранием (ФГ), воздействуя на остаточное давление в надгильной полости (p_0), т. е. на давление начала впрыскивания топлива (p_{00}), управляется ПВ на работающем дизеле, повышается экономичность ДВС, а при форсунках с глухим коллаком (ФГК) экономятся и материалы, упрощаются компоновка, демонтаж и монтаж ТС на дизель. Зачастую даются противоречивые рекомендации по регулированию p_{00} в зависимости от режима, причём, признавая несомненными повышение надёжности и срока службы распылителей, многие считают улучшение экономичности дизелей с ФГ кажущимся, полагая, что вместе с топливом сгорает и запирающая жидкость (ЗЖ), количество которой (зачастую используется топливо) не учитывается при оценке экономичности дизелей. В ТС с ФГК возможны гидрозаклинивание иглы (ЗИ), приводящее к потере работоспособности по мере интенсификации ПВ, особенно на режимах холостого хода (ХХ), малых нагрузок и частот (МНЧ), что явилось основным препятствием на пути их внедрения в практику дизелестроения. В существующих методах анализа и расчёта ПВ, учитывая волновые явления от начала нагнетательного трубопровода (НТ) до кармана распылителя (V_0), движение топлива от V_0 до сопловых отверстий рассматривается зачастую как стационарные или квазистационарные движения жидкости, несмотря на то, что основным в принципе работы форсунок является нестационарность процесса и получение волн, которые и приводят к распаду жидкости на капли. Нередко считается, что в периоды между ПВ остаточное давление в НТ $p_0 = \text{const}$, которое задаётся приближённо, а затем уточняется в процессе расчётов, хотя отмечается (И.В. Астахов, Л.Н. Голубков и др.) большое влияние на ПВ и начальных условий, т. е. w_0 и p_0 : при $p_0 < 0,1$ МПа в ТС образуется остаточный свободный объем (V_{0c}), не заполненный топливом, и ошибка в определении V_{0c} вносит в расчёт погрешность до 40-200 %, а при $p_0 > 0,1$ МПа влияние p_0 на точность расчёта не особенно велико. В этой связи и принимается $p_0 = \text{const}$ и $w_0 = 0$, но тогда нельзя объяснить многие явления, происходящие в ТС, в особенности при работе их на ХХ, МНЧ, например, снижение p_0 при пружинных форсунках (ФП) с системой слива дренажного топлива (ССДТ), подпитку линии высокого давления (ЛВД) в ТС с гидравлическим и гидромеханическим (ФГМ) запиранием форсунок, явление гидрозаклинивания иглы ФГК, решать задачи регулирования и саморегулирования параметров ПВ для стабилизации и интенсификации ПВ, создания работоспособных ТС с ФГК. Для объективной оценки экономичности дизелей с ФГ, обеспечения работоспособности ТС с ФГК, дальнейшего совершенствования их возникает проблема исследования особенностей и взаимосвязей гидродинамических процессов в ТС с форсунками разных типов (ФРТ), что невозможно без дальнейшего развития теоретических основ разработки и совершенствования их, включая и теорию исследования на устойчивость, которые необходимы для обоснования аналитических, расчётных и экспериментальных методов исследования, новых способов стабилизации и интенсификации ПВ и методов решения возникающих при этом задач.

В связи с вышеизложенным диссертационная тема является актуальной.

Цель. Развитие теоретических основ разработки и совершенствования ТС с ФГ и ФГК, моделирующих особенности и взаимосвязи гидродинамических процессов в них и позволяющих обосновать и разработать уточнённые методы анализа и расчёта ПВ, на основе которых и сравнительных экспериментальных исследований: сформулировать и обосновать совокупность научных положений и технических решений по повышению эффективности ТС и экономичности дизелей, в особенности при работе их на ХХ, МНЧ, включая создание новых, в том числе и работоспособных ТС с ФГК, с прогнозом путей совершенствования ТС.

Научная новизна. Разработаны теоретические и подтверждены экспериментально новые физические представления об особенностях и взаимосвязях гидродинамических процессов (ОВГП) в ТС с ФРТ. Развита теория ПВ, моделирующая эти ОВГП учётом волновых явлений до сопловых отверстий, динамических явлений в надьогольной полости (НП), утечек и перетечек топлива (ФП, ФГК), топлива и ЗЖ (ФГМ, ФГ) как во время ПВ, так и в периоды между ними, т. е. изменений $p_0, p_{гв}$, конструктивно-технологических, регулировочных и эксплуатационных параметров ТС и дизелей; свойств топлива и ЗЖ в зависимости от p и T . Уточнены: уравнения начальных и граничных условий у насосов с нагнетательными клапанами (НК) разных типов и у форсунок разных типов как во время ПВ, так и в периоды между ПВ; уравнения энергетического баланса и баланса сил, действующих на иглы ФРТ; теоретические (с учётом утечек и перетечек топлива через распылитель) и экспериментальные методы исследования на устойчивость работы форсунок. Реализованы на ЭВМ методы гидродинамического расчёта ПВ с учётом и без учёта волновых явлений до сопловых отверстий. Путём имитационного моделирования установлены целесообразные схемы и варианты расчётов, влияние хода иглы на коэффициенты отражения стыков ($\alpha_{ст}$) и на распределение потока топлива в каждом стыке ЛВД до сопловых отверстий, методы повышения давления впрыскивания (p_c); созданы технические решения для проведения НИР, диагностирования и регулирования ТС и дизелей с ФРТ, новые методы регулирования и саморегулирования для стабилизации и интенсификации ПВ и методы решения возникающих при этом задач, включая методы повышения устойчивости работы форсунок, устранения ГЗИ и создания работоспособных ТС с ФГК, защищённых 54 а. с. и патентами СССР, РФ и Республики Казахстан (РК) и положительными решениями Госкомизобретений, из которых 49 защищены без соавторов. Вышеизложенное выносится на защиту, включая результаты комплексных сравнительных расчётно-теоретических, экспериментальных и патентных исследований, рядовых эксплуатационных испытаний, оценку научно-практического значения и технико-экономической эффективности выполненных НИОКР и прогноз путей дальнейшего совершенствования ПВ и ТС, позволившие сформулировать и обосновать совокупность научных положений, методов, способов и технических решений по повышению эффективности работы ТС и дизелей, в том числе и путём рециркуляции ОГ (РОГ);

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждены сравнительными аналитическими, расчётными и экспериментальными исследованиями, выполненными на уровне современных представлений о ПВ, результатами лабораторных, 800-ч заводских и рядовых эксплуатационных испытаний (РЭИ), внедрением их в производство и в рядовую эксплуатацию, подтвердивших справедливость полученных выводов и рекомендаций, и опре-

деяются применением: фундаментальных законов гидродинамики и механики с соответствующими уточнёнными начальными и краевыми условиями, теории звуковых волн, методов теории автоматического регулирования, общей теории автоколебаний, имитационного моделирования, статистической обработки результатов экспериментов; сравнительных исследований, соответствием и схожимостью их результатов; достоверных опытных данных, полученных соискателем и другими исследователями для обоснования предложенных моделей; ГОСТов и других нормативных актов; существующих методов и стандартного оборудования, а также разработкой новых методов, способов и технических решений для исследования, диагностирования и регулирования ТС и дизелей, защищённых а. с. и патентами СССР, РФ и РК.

Связь темы диссертации с государственными программами. Соискателем были выпущены 6 научных отчётов общим объёмом в 833 с. по НИР, выполнявшимся по теме А-ХVI-1065, утвержденной СМ СССР (1965-71). Соискатель с 1972 г в ПГУ руководит НИОКР по ТС с ФРТ, входившие в разработанные согласно государственной программы 0.13.07 координационные планы НИОКР: Межведомственного НТС по ДВС ГКНТ по проблемам «Повышение прочности и надежности ДВС», «Совершенствование ТС ДВС», а также Минсельхозмаша СССР. Президиумом Экспертных Советов МО РК работы по ФГ и ФГК отнесены к приоритетным направлениям по проблеме «Машиностроение, механика и управление». В 1998-1999 гг соискатель-обладатель Гранта Фонда Науки МОиН РК.

Научная значимость, практическая ценность и реализация работы. Разработанные теоретические основы совершенствования ТС, включая и реализованные на ЭВМ, установки и технические решения позволяют проводить комплексные исследования ТС с ФРТ и, сокращая время, материальные, энергетические и трудовые затраты, с достаточной точностью решать задачи: проектирования, доводки, диагностирования ТС и дизелей. Практически ценно, что стабилизация и интенсификация ПВ достигались путем регулирования (ФГ, ФГМ) и саморегулирования (ФГК) p_{pro}, p_{fo} в зависимости от режима, причём ТС с ФГК дополнительно упрощена разгерметизированными НК (РНК) и плоскими РНК, т. е. созданы ТС с изменяемой структурой, когда ЛВД-РНК-линия низкого давления (ЛНД) выполняют роль ССДТ в периоды между ПВ, полностью устраняя ГЗИ, что результаты работы можно и нужно использовать и на эксплуатируемых дизелях, улучшая экономические и экологические показатели их и сроки службы распылителей и форсунок, причём по мере износа даже изношенных распылителей (ИР) повышается экономичность дизелей. Результаты НИОКР по ТС с ФГ и ФП использованы при разработке технических проектов новых мощных двигателей 8Д49, 22ДГ, 20ДГ; полученный задел используется Генеральным Заказчиком при создании новых форсированных дизелей; разработанная методика расчёта ПВ существенно уточняет расчёт, особенно при малых p , сокращая время и повышая качество работ при конструировании и доводке новых образцов ТС. Имеющий научно-практическое значение результат получен при исследовании УРФ с учётом утечек через распылитель, подсказавший использовать ЛВД как ССДТ в периоды между ПВ, для чего были созданы РНК. Актуальность, новизну, практическую ценность, достоверность и обоснованность результатов НИОКР подтверждают и 54 а. с. и патентов СССР (РФ), РК. Результаты НИОКР, включая способы и устройства для исследования, регулирования, диагностирования ТС и дизелей с ФРТ, используются в НИОКР, эксплуатации, учебном процессе МГТУ, ПГУ

и других ВУЗов. Материалы переданы КТЗ, АМЗ, НАТИ, ЦНИТА, МАДИ, КамАЗ, НИКИТИД и хозяйствам для проведения рядовых эксплуатационных испытаний.

Апробация. Основные результаты докладывались на: ежегодных НТК в МВТУ (1965-1971); НТС ОГК КТЗ (1966-1971); всесоюзном НТС по ДВС (МВТУ, 1970); НТС ОГК ПТЗ (Павлодар, 1972); секции ДВС НТС НАТИ (1972); заседаниях кафедр ДВС и ТРМ ПГУ, НТК ПГУ, межвузовских НТК (Павлодар, 1971-2002); НТС СКБ АМЗ (Барнаул, 1972-1987); всесоюзных НТК (М.: МВТУ-1973, 1980, 1987-7 докл.; МАДИ-1978, 1982, 1986-6; Ташкент-1973, 1982, 1985-4; Харьков-1979-2; Владимир-1980-2); республиканских НТК (Алма-Ата: КазНИИНТИ-1976, 1979, 1989-6; Павлодар: 1979, 1985-8) и международных НТК (Алматы: КазгосИНТИ-1996-6; ИА РК-2001-3); на заседаниях Экспертного Совета и Отдела Науки МО РК (1990-1994); Департаменту Науки МОиН РК и Военно-научному Центру (ВНЦ) МО РК (2000); опубликованы в 12 информационных листах КазгосИНТИ. Всего опубликовано 63 тезисов и материалов конференций: из них 42-материалы РНТК, ВНТК, МНТК (13 полных докладов). На ВДНХ КазССР ФГК удостоена Диплома I степени. Таким же Дипломом автор отмечен за успехи в научно-педагогической деятельности и занесён в Золотую Книгу Почёта РК.

Публикации: Свыше 150, включая 24 научных отчётов общим объёмом в 2387 с., 24 а. с. СССР, 3 пат. СССР-РФ, 25 пат. РК, 2 ПР Госкомизобретений), учебные пособия и монографию. На имя МВТУ получено и первое а. с. СССР [32].

Структура и объём работы. Диссертация на 296 с. состоит из введения, пяти глав, заключения, включая текст на 231 с., 184 рис. и 24 таблиц на 65 с., список литературы (373 наименований) на 31 с. Отдельной книгой (128 с.) оформлено 51 приложение.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность проблемы, поставлена цель, дана общая характеристика работы, сформулированы вопросы, выносимые на защиту.

В главе I выполнен анализ работ по проблеме, показавшие, что: 1) желательно, чтобы $p_{впр}$ не снижалось с уменьшением цикловой подачи топлива ($V_{ц}$) и n ; 2) начало, конец и продолжительность впрыскивания ($\phi_{впр}$) должны изменяться вместе с изменением $V_{ц}$ и n , быть оптимальными для каждого из режимов; 3) работа ТС должна быть устойчивой, без пропусков, растянутого и дополнительного (РД) ПВ; 4) ТС должна быть простой с простыми устройствами для регулирования и управления; 5) рабочий процесс ДВС на ХХ, МНЧ ухудшается из-за неудовлетворительного ПВ, переохлаждения заряда; 6) работа ТС на ХХ, МНЧ характеризуется резким снижением $p_{впр}$, наличием неравномерности ПВ по цилиндрам и циклам, вплоть до пропусков подачи топлива, резким ухудшением устойчивости по мере понижения n , вынуждая поддерживать $n_{сmin}$ не минимально возможными по регулятору, а значительно более высокими; 7) на номинальных и близких к ним нагрузках и частотах (НБНЧ) при постоянном $p_{фоп}$ возрастает $\phi_{впр}$ и ТС с ФП работает на границе появления РДПВ, повышая G_T , ДТОГ и теплонпряжённость деталей; 8) особое внимание надо уделять совершенствованию ПВ и рабочего процесса ДВС при работе на ХХ, МНЧ; 9) возможно регулирование (ФГ), саморегулирование (ФГК) параметров ПВ в зависимости от режима. Вышеизложенное позволило, учитывая и доводы при обосновании актуальности проблемы, сформулировать и обосновать то, что выносится на защиту.

В главе 2 изложены теоретические основы совершенствования ТС с ФРТ, разработанные на основе исследований Г.Г.Калиша, И.В.Астахова, А.С.Лышевского,

суммарная (эффективная) СОР; f_K, f_{KJ}, f_K' - площади поперечного сечения НК по рагрузочному пояску (РП), перьям, среднему радиусу уплотнительного конуса (УК); $\mu_{\text{шц}}$ - эффективная площадь между НК и седлом; $d_K, d_{\text{п}}, d_c, d_r, d_x$ - диаметры: колодца распылителя, плунжера, СОР, НТ, характерный иглы по запорному конусу; d_H, l_H - диаметр, длина сопряженной поверхности РП; δ_r, δ_l - диаметральный, радиальный зазоры в распылителе; δ, δ_K - жесткости пружин ФРТ, НК; h_K - ход НК; $\beta_H = 1 + (3/2)(l_K / \delta_H)^2$; $\beta = 1 + (3/2)(l_H / \delta_l)^2$; $\sigma_r = 1$ при ФГ, ФГМ, ФП; $\sigma_r = 0$ при ФГК; $\sigma_{\text{п}} = 1$ ($M = M_{\text{п}}$) при ФП, ФГК, ФГМ; $\sigma_{\text{п}} = 0$ ($M = M_r$) при ФГ; $\sigma_H = 1$ при $h_K < h_{\text{КН}}$, $\sigma_H = 0$ при $h_K \geq h_{\text{КН}}$ ($h_{\text{КН}}$ - ход НК до выхода РП из направляющей); с РНК $\sigma_H = 1$ и при $h_K = 0$; $\sigma_o = 1$ при $p_H > p_{\text{вс}}$ и $\sigma_o = -1$ при $p_H < p_{\text{вс}}$; $\sigma_y = 1$ при $y < y_{\text{max}}$; $\sigma_y = 0$ при $y = y_{\text{max}}$; $\sigma_{\text{шц}} = 1$ при $h_K \geq h_{\text{КН}}$ и $\sigma_{\text{шц}} = 0$ при $h_K < h_{\text{КН}}$; δ_H, d_H, l_H - расчетный радиальный зазор, диаметр, длина сопряженной части НК по РП; l_K, S_K - длина, площадь всей сопряженной части НК по его ходу; l_H, S_H - длина, площадь сопряженной части распылителя; $\beta_H = \beta = 1-1,15$ (при отсутствии сухого трения); $C = 1,0025$ (для дизтоплива по ДН.Вырубо ву); $f_{\text{КР}} = f_K$ при $h_K > h_{\text{КН}}$; с РНК: $f_{\text{КР}} = f_K$ при $0 \leq h_K \leq h_{\text{КН}}$, с герметичными НК: $f_{\text{КР}} = f_K$ при $h_K \leq h_{\text{КН}}$, но $f_{\text{КР}} = f_K$ при $h_K = 0$; $f_{\text{ИР}} = f_{\text{и}}$ при $y < y_{\text{max}}$; $f_{\text{ИР}} = f_{\text{хв}}$ (площадь отверстия под хвостовик иглы) при $y = y_{\text{max}}$; $\alpha(\alpha_r)$ - средние коэффициенты сжимаемости топлива (ЗЖ), определенные по формуле Ю.Я. Фомина, упрощенной И.В. Астаховым и Л.Н. Голубковым; $V_{\text{ГО}}$ - объем НП при $y = 0$; μ_H, μ_o - коэффициенты расхода: сечения между ЗКИР, окон гильзы плунжера; τ - угол запорного конуса распылителя.

Определялись и текущие значения p_o и $p_{\text{ГО}}$:

$$\alpha V_{\text{ТС}} \frac{dp_o}{dt} = -B_{\text{ФО}}(p_o - p_{\text{ГО}}); \alpha V_{\text{Г}} \frac{dp_{\text{ГО}}}{dt} = B_{\text{ФО}}(p_o - p_{\text{ГО}}); B_{\text{ФО}} = \frac{\pi d_{\text{и}} \beta \delta_l^3}{12 \eta_{\text{ФО}} l_{\text{и}}}; \eta_{\text{ФО}} = \frac{\eta C^{p_o} + \eta_{\text{Г}} C^{p_{\text{ГО}}}}{2}. \quad (12)$$

Система гидрозаклипания форсунок обеспечивает постоянное $p_{\text{ГО}}$, повышающее p_o к началу цикла, а при ФП снижается p_o из-за V_y . Определив p_o и $p_{\text{ГО}}$ (12) в момент подхода волны ($t_{\text{НП}}$) к $V_{\text{Ф}}$, находим w''' (3). Процесс в НП исследовался с учетом (3) по (7). При расчетах учитывались изменения α, η, ρ в каждом Δt в зависимости от p и T . По мере роста p_o при ФГК растёт и $p_{\text{ГО}}$, а в дальнейшем с ростом $p_{\text{Ф}}$ возрастает и p_r , что приводит к росту $p_{\text{ГО}}$ и $p_{\text{ФО}}$, чему способствуют повышение $p_{\text{ФОП}}$, уменьшения $f_{\text{и}}$ и $l_{\text{и}}$. С понижением n и ростом δ_l (δ_r) уменьшается разность $(p_o - p_{\text{ГО}})$ из-за увеличения t и время-сечения кольцевого зазора в распылителе. Учёт изменений p_o и $p_{\text{ГО}}$ позволяет объяснить механизм ГЗИ на режимах малых $V_{\text{иц}}$, когда значения $p_{\text{Ф}}$ недостаточны для стабильных подъемов иглы в ПЦ, в результате чего имеют место пропуски ПВ даже в традиционных ТС. В ТС с ФГК все возрастающее накопление топлива в НП через десятки или сотни циклов приводит к полному прекращению ПВ из-за ГЗИ. Для устранения ГЗИ, стабилизации и интенсификации ПВ топливо в ПМЦ перепускается из НП через кольцевой зазор в ЛВД, а затем через РНК-в ЛНД. Текущие $p_{\text{ГО}}, p_o, p_{\text{НО}}$ в ТС с ФГК и РНК определялись на основе уравнений:

$$\alpha V_{\text{ГО}} \frac{dp_{\text{ГО}}}{dt} = B_{\text{ФО}}(p_o - p_{\text{ГО}}); \alpha V_{\text{ТС}} \frac{dp_o}{dt} = -B_{\text{ФО}}(p_o - p_{\text{ГО}}); \alpha V_{\text{НО}} \frac{dp_{\text{НО}}}{dt} = B_{\text{НО}}(p_o - p_{\text{НО}}), \quad (13)$$

где $V_{\text{ТС}}$ - объем ЛВД выше РНК; $p_{\text{НО}}$ - давление в ЛНД после посадки РНК с объемом $V_{\text{НО}}$, включающим $V_{\text{иц}}$ объёмы ЛНД. $B_{\text{НО}}$ определяется по (10) для B_H при $p_H = p_{\text{НО}}$ и $p_H = p_o$, а $B_{\text{ФО}}$ по (12). Топливо интенсивнее перетекает через РНК, чем через распылитель, так как $l_{\text{и}} > l_{\text{и}}$ при $d_H = d_{\text{и}}$. ЛНД является своего рода аккумулятором с редукционным клапаном, отрегулированным на $p_{\text{вс}}$ и стравливающим избыток топлива. В ТС с ФГК и РНК роль системы слива выполняют δ_r , ЛВД, δ_H , ЛНД, т. е.

имеет место ТС с изменяемой структурой. От известных (4,5) отличаются наличием составляющей $\sigma_{H/VN}$, характеризующей перетекание топлива через РНК ($0 < h_K < h_{KH}$) и герметичный НК ($0 < h_K < h_{KH}$), т. е. при РНК с момента движения плунжера (даже при $h_K=0$) идет подпитка ЛВД, повышая $p_{ОНЧ}$ до $t_{НП}$.

Влияние иглы на процесс вырыскивания. В общем случае при НДСС неизвестных функций p и w столько, сколько ветвей в сложном трубопроводе, причём дополнительными ГУ является равенство p в узловых точках на стыке ($p_{СТ}$) и соблюдение баланса расходов, втекающих в узел и вытекающих из него [Рэлей Джон Вильям Стрэтт (1940-1944), И.А.Чарный (1951), Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц (1953)]. Эти положения использовали: И.В.Астахов (1955) для расчета, когда топливо поступало из одного НГ в разветвление из двух; К.Л.Наркевич (1966), С.Г.Роганов и А.К.Каракаев (1971) для анализа и расчёта ПВ с учетом волновых явлений до СОР; авторы учебника по системам ДВС (МГТУ, 1985) для анализа НДСС в трубопроводе и др. К.Л.Наркевич, применив метод простых волн, получает:

$$p_{ПР} = (1 + \alpha_{СТ})p_{ПАД}; p_{ОТР} = \alpha_{СТ} p_{ПАД}; \alpha_{СТ} = (f_1 - f_2) / (f_1 + f_2), \quad (14)$$

где $1 + \alpha_{СТ} = 2f_1 / (f_1 + f_2)$; $\alpha_{СТ} = K_{ОТР} / K_{ПАД}$; $(1 - \alpha_{СТ}) = K_{ПР} / K_{ПАД}$; $\alpha_{СТ}$ - коэффициент отражения стыка; $p_{ПАД}, p_{ПР}, p_{ОТР}$ (падающая, прошедшая, отраженная от стыка волны давлений); $\alpha_{СТ}, (1 + \alpha_{СТ}), K_{ПР}, K_{ОТР}, K_{ПАД}$ (энергии) аналогичны тем, что были получены И.А.Чарным, Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц (последние называют коэффициентом прохождения звука $D = 1 - \alpha_{СТ}^2$). К.Л.Наркевич, допуская, что 90 % топлива от $V_{Ц}$ поступает в КС при u_{max} , не учитывает влияние u на $\alpha_{СТ}$ и не дает сравнения расчёта с экспериментом. И.А.Мичкин (1961-62) установил, что при работе тракторного дизеля даже на $N_{ен}$ количество топлива (КТ), поданное за ЭВ, т. е. за второй этап посадки иглы, может доходить до 30-35 % от $V_{НОМ}$. С учетом КТ за первый этап посадки иглы и за этап подъёма иглы до упора допущение К.Л.Наркевича является необоснованным даже для расчёта ПВ на режиме $N_{ен}$, а на ХХ, МНЧ игла не поднимается до упора. Для определения КТ и оценки качества распыливания топлива (КРТ) в начале и конце ПВ необходимо знать p_ϕ и p_c при разных u . При этом для учёта сужения или расширения потока по кольцевому каналу необходимо определять $\alpha_{СТ}$ по значениям $f = f(x, y, t)$, а не диаметров (К.Л.Наркевич), так как $d_{ЭКВ}$ постоянен по длине образующей.

Энергетический баланс (ЭБ) и баланс сил (БС). Пренебрегая энергией положения (в ТС она мала), из (11), подставляя в нее w' (3), после преобразований получаем уравнения ЭБ с учётом изменений кинетических энергий на входе в V_ϕ ($K_\phi = f \rho w'^2 / 2$) и выходе из сопловых отверстий ($K_c = \mu_c f_c \rho C_c^2 / 2$):

$$F(t - l/c) + p_O / 2 + \sigma_y c \rho^2 B_y p_r / (2f_T) + \rho w'^2 / 4 = (c p_a V_\phi / (2f_T)) dp_\phi / dt + \sigma_y c \rho^2 B_y p_\phi / (2f_T) + p_\phi / 2 + f_H c \rho C_c / (2f_T) + \mu_c f_c c \rho C_c / (2f_T) + \mu_c f_c \rho C_c^2 / (4f_T). \quad (15)$$

БС при ФГ ($\sigma_\Pi = 0$; $M = M_f$), ФП, ФГМ, ФГК ($\sigma_\Pi = 1$; $M = M_\Pi$) определяются по (9). Силы, необходимые для подъема иглы, когда $u=0$ при $f_{НГ} = f'_H$, $p_c = 0$, для ФГ; ФП ($p_r = p_{г0} = 0$); ФГМ (ФГК) будут соответственно следующими:

$$f'_H p_\phi = f'_H p_{г0}; f'_H p_\phi = f'_H p_{фоп}; f'_H p_\phi = f'_H p_{фоп} + f'_H p_{гг}, \quad (16)$$

откуда при $p_r = p_{г0}$: $p_{ф0} = p_{фог} = (f'_H / f'_H) p_{г0}$; $p_{ф0} = p_{фоп}$; $p_{ф0} = p_{фоп} + p_{фог}$, (17) на основании которых строятся тарировочные графики $p_{ф0} = f(p_{г0})$ для регулирования их на работающем двигателе при ФГ и ФГМ, а при ФГК осуществляется саморегулирование $p_r, p_{г0}, p_{ф0}$, причём с РНК, уменьшая в распылителе длину разобшающего элемента ($l_{РЗ}$), можно интенсифицировать ПВ. По (17) оценивается: какая

же часть силы сжатого топлива ($f_{\text{кар}} p_{\phi}$) в V_{ϕ} используется на подъем, а по (9)-на подъем и движение игл ФРТ. На распределение топлива в форсунках влияют p_T , p_{T0} , $p_{\phi 0}$, $p_{\phi \text{оп}}$, γ , $C_{\text{н}} f_T$, $\mu_c f_c$, C_c . С ростом $C_{\text{н}}$ и диаметра плунжера ($d_{\text{пл}}$) возрастают $F(t-L/c)$. Повышению p_{ϕ} способствуют рост p_0 и уменьшение V_{ϕ} . Если при ФП утечки уменьшают p_{ϕ} , то при ФГ, ФГМ, ФГК из-за p_T и p_{T0} дополнительно подпитывается ЛВД, что повышает $p_{\text{нач}}$ и p_{ϕ} . Большие M , V_{ϕ} , рост δy по мере подъема иглы приводят к тому, что при ФП меньше y : из-за дросселирования под иглой снижается p_{ϕ} и ухудшается устойчивость работы форсунок.

Устойчивость работы форсунок (УРФ). Г.Г.Калиш впервые установил, что прерывистый и дробный (ПД) ПВ наблюдаются при малых Q_{ϕ} , имеющих $p_{\phi \text{мин}}$ на гидравлических характеристиках форсунок (ГХФ). Т.Ф.Кузнецовым явление ПД ПВ в ТС с ФП было изучено на основе общей теории автоколебаний (ОТА), но без учета утечек Q_y . Исследования на основе ОТА с учетом Q_y проводились сначала при $p_T=0$ (ФП) и $p_T=p_{T0}$ (ФГ, ФГМ, ФГК). Было принято, что

$$d/dt((G_H - G_Y) - G_{\phi}) = (Q_H - Q_Y) - Q_{\phi} = -B_1 y, \quad (18)$$

где $dG_H/dt = Q_H = f_T w' = f_T(2F(t-L/c) - p_{\phi} + p_0)/(c\rho)$; $dG_{\phi}/dt = Q_{\phi} = \mu_c f_c C_c$;

при ФП: $dG_Y/dt = Q_{YП} = B_{\phi П} p_{\phi}$; $B_{\phi П} = \pi d_{\text{пл}} \beta \delta_1^3 / (12 \eta_{\phi П} l_{\text{пл}})$; при ФГ, ФГМ, ФГК:

$$dG_Y/dt = Q_{YT} = B_{\phi T} (p_{\phi} - p_T); \quad \eta_{\phi T} = 0,5 \eta (C^{p_{\phi}} + C^{p_{T0}}); \quad \eta_{\phi П} = 0,5 \eta (C^{p_{\phi}} + 1)$$

Если при ФГ и ФГМ используется ЗЖ с $\eta_T: \eta_{\phi T} = 0,5(\eta C^{p_{\phi}} + \eta_T C^{p_{T0}})$.

Продифференцировав (9) по t при $f_{\text{нр}}=f_{\text{н}}$, подставляя в полученное выражение $d\phi/dt$ (6) при $\sigma_y=1$ и учитывая (18), получаем уравнение автоколебания иглы:

$$d^3 y/dt^3 + (r_p/M) d^2 y/dt^2 + (\delta_y/M) dy/dt + \gamma_{\phi}/M B_1 y = 0, \quad (19)$$

где $\delta_y = \sigma_{\text{н}} \delta' + \delta_{\phi}$; $\delta_{\phi} = f_{\text{н}} \gamma_{\phi}$; $\gamma_{\phi} = (1/\alpha V_{\phi})(f_{\text{н}} - f_1/(1+k))$; $f_{\text{н}} = \pi(d_{\text{к}} - 0,5 \sin \tau) y \sin(\tau/2)$; $k = (\mu_{\text{н}} f_{\text{н}})^2 / (\mu_c f_c)^2$. Допуская процесс квазилинейным, УРФ исследовалась с помощью критериев устойчивости Рауса-Гурвица. Коэффициенты (19) положительны, т. е. выполняются необходимые условия, а достаточные условия по Раусу-Гурвицу и ГУРФ (граница между устойчивой и неустойчивой работой форсунок) будут следующими ($A_2 A_1 \geq A_3 A_0$):

$$r_p \geq \gamma_{\phi} B_1 M / \delta_y, \quad (20)$$

т. е. даже при одинаковых M выше УРФГ, так как $\delta_y > \delta_{\phi}$ (при ФГ: $\sigma_{\text{н}}=0$), откуда допуская $\delta_y \approx \delta_{\phi}$, где δ_{ϕ} - гидравлическая жёсткость, и подставляя $\delta_y = \delta_{\phi} = f_{\text{н}} \gamma_{\phi}$, получим:

$$r_p \geq B_1 M / f_{\text{н}}, \quad (21)$$

т. е. движение иглы будет устойчивым тогда, когда правые части (20-21) будут меньше силы трения, отнесённой к $C_{\text{н}}$ (11), т. е. при больших F_T и малых $C_{\text{н}}$. Практически это может быть при задирах иглы или попадании частиц грязи в δ_1 , т. е. ПДПВ-показатель хорошего состояния распылителей. УРФГ наступает в $M_{\text{пл}}/M_T$ раз быстрее. При ФГ, ФГМ и ФГК из-за меньших утечек ГУРФ смещается в сторону меньших V_{ϕ} , чем при ФП, а при ФГ это смещение более сильное ($M_T < M_{\text{пл}}$). Подстановка B_1 (18) в (21) показывает, что УРФ может быть обеспечена и при $Q_{\phi} > (Q_H - Q_Y)$:

$$r_p f_{\text{н}} y / M \geq Q_{\phi} - (Q_H - Q_Y). \quad (22)$$

При $Q_H - Q_Y = Q_{\phi}$ (18-19) совершаются затухающие гармонические колебания иглы (ГКИ), скорость (r_p/M) и частота (δ_y/M) затухания которых растут с уменьшением M :

$$s^3 + (r_p/M) s^2 + (\delta_y/M) s = 0. \quad (23)$$

Когда сила воздействия топлива на иглу снизу равна $F_{\text{ж}}$, уравнение (19) превра-

щается в уравнение гармонического осциллятора, совершающего незатухающие ГКИ с частотой ПДПВ δ_y/M :

$$d^3y/dt^3 + (\delta_y/M)(dy/dt) = 0. \quad (24)$$

Из условия $\mu_H f_H C_H = \mu_C f_C C_C$, где $C_H = \sqrt{2|p_\phi - p_\psi|/\rho}$; $C_C = \sqrt{2|p'_\phi - p_\psi|/\rho}$, с учётом

$$(19) \text{ получаем: } p - p_\psi = k(p_\phi - p_\psi)/(k+1), \text{ а при } p_\psi = 0: \quad p'_\phi = kp_\phi/(k+1), \quad (25)$$

Из (14) при $f_{np} = f_H$ после преобразований с учётом (25):

$$p_\phi - p_\psi = [Md^2y/dt^2 + f_H p_T + \sigma_\Pi (\delta'y + f_H p_{\phi\Omega}) + F_{ж} - f_H p_\Pi]/(f_H - f_H/(k+1)). \quad (26)$$

$$\text{Из (24-25):} \quad Q_\phi = \mu_C f_C \sqrt{2k|p'_\phi - p_\psi|/((1+k)\rho)}. \quad (27)$$

$$\text{Преобразуем (22): } r_p f_H y/M + (Q_H - Q_y) \geq Q_\phi \text{ или } (r_p f_H y/M + (Q_H - Q_y))/Q_\phi \geq 1. \quad (28)$$

С уменьшением $\mu_C f_C$, M , $p_{\phi\Omega}$, $p_{\phi\psi}$, $F_{ж}$, f_H , p_T , $\delta'y$ и ростом p_Π УРФ обеспечивается при меньших $(p_\phi - p_\psi)$ и Q_ϕ . С ростом p_T и p_ϕ сокращается ЭВ, но возрастает возможность ГЗИ, что обусловило необходимость исследования УРФТ с учётом выявленных особенностей и взаимосвязей гидродинамических процессов. Из (25):

$$dp'_\phi/dt = ((p_\phi - p_\psi)/(1+k)^2) dk/dt + (k/(1+k)) dp_\phi/dt + (1/(1+k)) dp_\psi/dt, \quad (29)$$

$$\text{а из (19):} \quad dk/dt = (1/(\mu_C^2 f_C^2)) \cdot (f_H^2 d\mu_H^2/dt + \mu_H^2 df_H^2/dt);$$

$$df_H^2/dt = 2f_H df_H/dt = 2f_H \pi (d_K - y \sin \tau) \sin(\tau/2) dy/dt, \text{ где } \tau = \text{const}. \quad (30)$$

В соответствии с экспериментом в зависимости от r и y была обоснована аппроксимированная зависимость μ_H по закону прямых ломаных линий $\mu_H = a + by$, состоящую из 3-х участков, а следовательно, на каждом из участков:

$$d\mu_H^2/dt = 2\mu_H d\mu_H/dt = 2\mu_H b dy/dt; \quad dk/dt = K_y dy/dt, \quad (31)$$

$$\text{где } K_y = (2\mu_H f_H / (\mu_C^2 f_C^2)) \cdot (f_H b + \mu_H \pi (d_K - y \sin \tau) \sin(\tau/2)).$$

$$\text{Тогда:} \quad dp'_\phi/dt = ((p_\phi - p_\psi)/(1+k)^2) K_y dk/dt + (k/(1+k)) dp_\phi/dt + (1/(1+k)) dp_\psi/dt. \quad (32)$$

Продифференцировав (9) по t и подставив dp'_ϕ/dt (32), а затем dp_ϕ/dt и dp_T/dt (6,7), после преобразований ($\sigma_T = 1$, $f_{np} = f_H$) получаем:

$$Md^3y/dt^3 + r_p d^2y/dt^2 + \delta_{yK} dy/dt - \gamma_\phi (f_T w' - B_{\phi y} (p_\phi - p_T) - \mu_C f_C C_C) - \\ - \gamma_T (\sigma_T f_{TT} w'_T - B_{\phi y} (p_\phi - p_T) - (f_1/(1+k)) dp_\psi/dt) = 0, \quad (33)$$

$$\text{Преобразуя в (33): } (f_1/(1+k)) dp_\psi/dt = (\gamma_\phi/\gamma_\phi) (f_1/(1+k)) dp_\psi/dt = \gamma_\phi dG_\psi/dt = \gamma_\phi Q_\psi, \\ \text{учитывая (18) и принимая } d(\sigma_T G_{TT} - G_y)/dt = \sigma_T Q_{TT} - Q_y = -B_y y; dG_\psi/dt = Q_\psi = -B_y y, \quad (34)$$

$$\text{будем иметь:} \quad \frac{d^3y}{dt^3} + \frac{r_p}{M} \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{\delta_{yK}}{M} \frac{dy}{dt} + \left(\frac{\gamma_\phi}{M} B_1 + \frac{\gamma_T}{M} B_2 + \frac{\gamma_\phi}{M} B_3 \right) y = 0 \quad (35)$$

$$\text{с условиями УРФ и ГУРФ:} \quad (r_p/M) \delta_{yK} \geq \gamma_\phi B_1 + \gamma_T B_2 + \gamma_\phi B_3, \quad (36)$$

где $\delta_{yK} = \sigma_T \delta + \delta_T + \delta_\phi - f_1 K_y (p_\phi - p_\psi)/(1+k)^2$; $\delta_T = f_H \gamma_T$; $\gamma_T = f_H/(\alpha' r_T)$ при ФГ и ФГМ; $\gamma_T = f_H/(\alpha' r_T)$ при ФП и ФГК; $Q_y = B_{\phi y} (p_\phi - p_T)$; $\sigma_T Q_{TT} = \sigma_T f_{TT} w'_T$; $\sigma_T = 0$ при ФГК, так как $f_{TT} = 0$; $\sigma_T = 1$ при ФГ, ФГМ, ФП: w'_T определяется по (3), только при ФП $w'_T = p_T + 2W_T(t)/(\rho r)$, так как $p_{T0} = 0$. Подставляя B_1 (18), B_2 и B_3 (34), представим (36) в виде:

$$r_p \delta_{yK} y/M + \sigma_T \gamma_T Q_{TT} + \gamma_\phi Q_\psi - \gamma_T Q_y \geq \gamma_\phi [Q_\phi - (Q_H - Q_y)], \quad (37)$$

$$\text{а при } Q_\phi = Q_H - Q_y \text{ с } Q_y = B_{\phi y} (p_\phi - p_T): r_p \delta_{yK} y/M + \sigma_T \gamma_T Q_{TT} + \gamma_\phi Q_\psi + \gamma_T B_{\phi y} p_T \geq \gamma_T B_{\phi y} p_T. \quad (38)$$

Таким образом, уравнения (33,35) с условиями (36-38) являются наиболее общими для проведения комплексных исследований на УРФ с более полным учётом конструктивно-технологических, регулировочных и эксплуатационных параметров и процессов, происходящих в δ_y под и над иглой, а также в цилиндре (p_Π).

Анализ (33-38) подтверждает результаты (18-28) об улучшении УРФ с расширением ГУРФ при ФГ, ФГМ, ФГК из-за меньших Q_v , в особенности при ФГ ($M_t < M_{t0}$), а также то, что УРФ наступает с уменьшением $Q_v, M, p_{фоп}, p_{фo}$ при меньших $Q_{ф}$. Это подсказывает целесообразность использования в дизелях ФГ, ФГМ, ФГК и ступенчатого ПВ (меньшие μ_{fc} при работе на ХХ, МНЧ, в особенности при использовании двух игл, каждая из которых с меньшими μ_{fc} и M обеспечивает более УРФ на ХХ, МНЧ, расширяя ГУРФ и снижая n_{xmin}). Замечателен результат, что в условиях УРФ появился новый член $\sigma_T \gamma \gamma_{TT}$ (37-38), показывающий, что труднее обеспечивать УРФГК, чем ФП, ФГ, ФГМ, в которых, увеличивая $Q_{TГ}$, уменьшая $p_{фоп}$ и $p_{фo}$, можно повысить УРФ, расширить ГУРФ и устранить ГЗИ, но оно может иметь место в ТС с ФГК при малых V_{ib} так как в периоды между циклами ПВ из-за отсутствия ССТ нарастают $p_{гo}$ и p_r и через десятки или сотни ПЦ происходит ГЗИ. Устранили ГЗИ с помощью НК двойного действия (НКДД) и РНК.

Учитывая $\eta_p = \eta(C^p - 1)/(p \ln C)$, в работе [Топливные системы и экономичность дизелей/И.В.Астахов, Л.Н.Голубков, В.И.Трусов и др.-М.: Машиностроение, 1990.-288 с.] определяют: $Q_v = B_{фp} p_{ф}^2$, где $B_{фp} = \pi \delta^3 / \beta \ln C [12 I_{и} \eta / (C^p - 1)]$; там же имеется формула и для Q_v через δ_p в электрогидравлической форсунке аккумуляторной ТС: $Q_v = B_{фp} (p_{фp} p_r)^2$, где $B_{фp} = \pi \delta^3 / \beta \ln C [12 \eta_{фл} (C^{p_{фp}} p_r^p - 1)]$ и $p_{ATM} \approx 1$ кгс/см². Отмечая рост интереса к ТС с повышенным p_r , Л.В.Грехов и А.Г.Коротнев на базе уравнения плоского ползущего течения и формулы Д.Н.Вырубова получили для малых зазоров ($\delta_i \leq 0$ мкм): $Q_v = B_{фp} (p_{фp} p_r)^2$, где $B_{фp} = \pi d_{и}^3 \beta_{КС} \delta_i^3 / \ln C [12 \eta_{и} p_{ATM} (C^{p_{фp}} p_{ATM} - C^{p_{и}} p_{ATM})] \pm \pi C_{и} \delta_i d_{и} / [2 (p_{фp} p_r)^2]$. Эти формулы можно использовать вместо (10,12) при исследовании УРФ.

Анализ результатов расчета процесса впрыскивания на основе имитационного моделирования (ИМ) (рис. 1-6). Зная p в двух точках ЛВД (рис.1) определяли $p_{ф}$ по д'Аламберу. Для повышения точности расчёта по (3-13) сначала определяли по методу конечных разностей (МКР) приближённое $p_{фл}$ в конце Δt по известному $p_{ф1}$ в начале Δt , а затем командой на ЭВМ по $p_{фл}$ заново рассчитывали η, c, ρ, α и уточненное $p_{ф}$ в конце Δt (рис.4), так как имеют место довольно значительные погрешности при определении η, c, ρ, α по $p_{ф1}$. Расчёты показали необходимость учёта динамических явлений в ЛВД и надъёльной полости, а при малых p (ХХ, МНЧ) расчёт уточняется также при учёте T (определялась на выходе из СОР) и утечек (перетечек) топлива и ЗЖ из-за влияния p и T на η, c, ρ, α . Так как расстояние от $V_{ф}$ до СОР очень мало и трудно учесть с запаздыванием по t повторно отражённые от различных стыков волны давлений на p_c , то оно определялось при известном $p_{ф}$ (рис.2) по формуле:

$$p_c = (1 + \alpha_1)(1 + \alpha_2)(1 + \alpha_3)(1 + \alpha_4) = \alpha_{\Sigma} p_{ф}, \quad (39)$$

где $\alpha_1 = (f_1 - f_2)/(f_1 + f_2)$; $\alpha_2 = (f_2 - f_3)/(f_2 + f_3)$; $\alpha_3 = (f_3 - f_4)/(f_3 + f_4)$; $\alpha_4 = (f_4 - f_5)/(f_4 + f_5)$; α_{Σ} характеризует относительное изменение $p_{ф}$ при НДСС от $V_{ф}$ до СОР в зависимости от y . Коэффициенты α_1 и α_2 зависят от y ; α_3 и $\alpha_4 = \alpha_c$ - постоянны (рис.2,5), что позволяет упростить (39). Все расчеты, выполненные путём ИМ по трем схемам и десяти вариантам с учётом и без учёта μ_c и $\mu_n = a + by$, правильно отражают качественную картину изменения $p_c = f(x, y, t)$ в распылителе дизеля Д-49. Наиболее хорошее совпадение с экспериментом дал расчёт по схеме и варианту, когда считалось, что $f_5 = f_1$:

$$p_c = (1 + \alpha_1)(1 + \alpha_3)(1 + \alpha_{\mu c}) p_{ф} = \alpha_{1-\mu c} p_{ф} = 2,4765(1 + \alpha_1) p_{ф}; \quad (40)$$

где $\alpha_1 = (f_1 - f_3)/(f_1 + f_3)$; $\alpha_{\mu c} = (f_1 - \mu_{fc})/(f_1 + \mu_{fc})$; $(1 + \alpha_1), \alpha_{1-\mu c}$ - относительные изменения $p_{ф}$ в зависимости от y при НДСС (топлива): под иглой от f_1 до f_3 и от f_1 до СОР с учётом μ_c , но без учета μ_n . Значения p_c , закона подачи топлива и $b_{и}$, определенные по

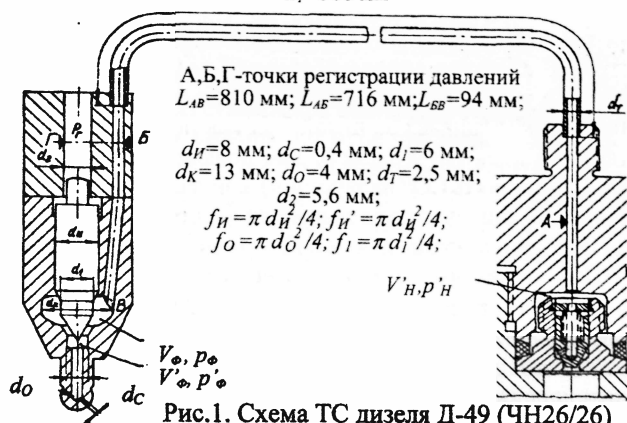


Рис.1. Схема ТС дизеля Д-49 (ЧН26/26)

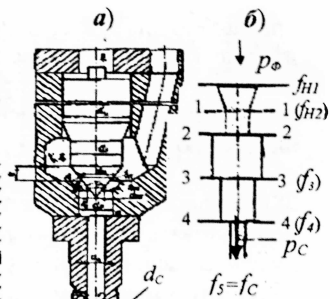


Рис.2. Конструктивная (а) и расчетная (б) схемы распылителя форсунки дизеля ОД-49 (ЧН26/26)

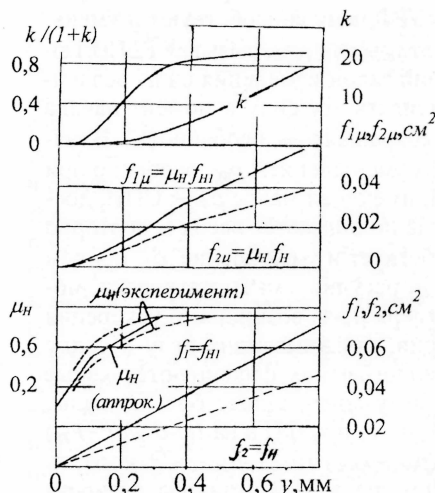


Рис.3. Зависимости от y : проходных площадей под иглой; коэффициентов $\mu_H, k, k/(1+k)$

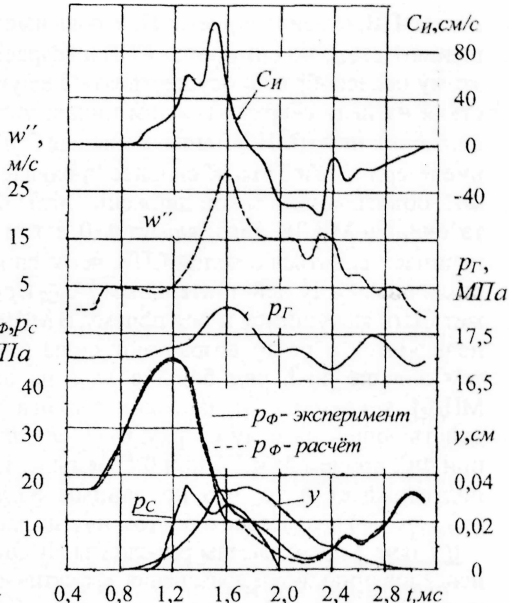


Рис.4. Зависимости $p_\phi, p_C, p_\Gamma, y, w'', C_H$ от t

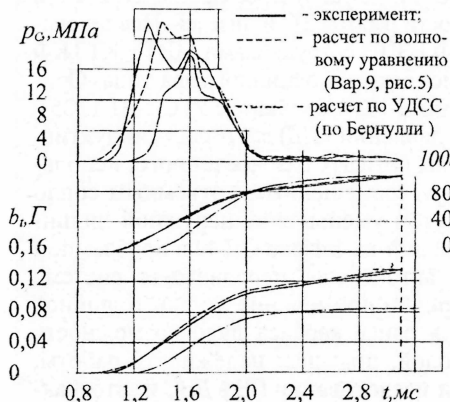


Рис.6. Изменения $p_C=p_{Впр}$ и закона подачи топлива во времени

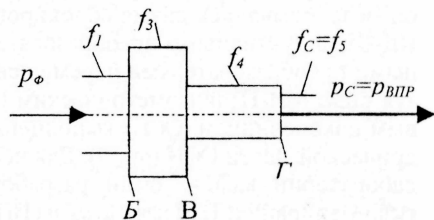


Рис.5. Расчетная схема №3 для определения p_C по известному p_ϕ

Вариант 9 (без учета μ_H и с учетом μ_C):

$$\alpha = (f_\Gamma f_3) / (f_1 + f_3); \alpha_{2-\mu_C} = 2,4765(1 + \alpha_1)$$

уравнению для УДСС, значительно отличаются от экспериментальных значений их (рис.6). На основе расчета ПВ с учетом волновых явлений до СОР можно заключить, что основной причиной уменьшения p_c , особенно при малых u , является чрезмерное расширение потока в каналах за иглой, так как по мере уменьшения u до нуля α_i стремится к (-1), а $\alpha_{\Sigma}, \alpha_{1-\mu c}, K_{1-\mu c}$ к 0. Для повышения p_c целесообразно уменьшать d_{kfK}, V_K , выполнять СОР на запорном конусе распылителя ЗКР, плавно или ступенчато сужать каналы от входа в V_ϕ до запорных конусов, использовать ступенчатый ПВ с изменяющимися μf_c . Это подсказывает и полученная закономерность НДСС о том, что по мере сужения каналов или ступенчатого уменьшения μf_c (ХХ,МНЧ) $\tau_{ж}$ повышает p , повышать скорость посадки иглы (СПИ), сокращая $\phi_{впр}$, продолжительность посадки иглы ($\phi_{лос}$), ЭВ ($\phi_{эв}$), чему способствует и рост δ_r и что достигается в ТС с ФГ, ФГМ, ФГК, которые можно укомплектовывать изношенными распылителями. Это подтверждается и исследованиями на основе ЭБ и БС: с уменьшением $p_{ф0}$ и M возрастают $C_{иу}, p_c$ в начале ПВ, стабилизируется ПВ и повышается УРФ, чему способствуют и уменьшения $V_\phi, d_{кар}$, но снижается СПИ и возрастают $\phi_{впр}, \phi_{лос}, \phi_{эв}$, вызывая РДПВ. Поэтому целесообразно осуществлять следующий закон изменения силы воздействия на иглу сверху в каждом цикле: увеличивать эту силу в момент начала движения иглы (МНДИ) вниз, повышая СПИ и сокращая $\phi_{впр}$, особенно $\phi_{эв}$. Влияние инерции M и δu на БС сильнее проявляется с уменьшением $p_{ф0}$, особенно при ФП, объясняющий закон движения иглы ФП, имеющей малое $p_{фол}$: СПИ, достаточная в МНДИ вниз, падает до 0, затем игла поднимается вверх и повторно начинает садиться с малой СПИ, чему способствует и уменьшение δ_r , причём различие между действительным $p_{фолд}$ и $p_{фолс}$, регулируемым статически, может быть кажущимся и вот почему. В МНДИ вверх из-за возникшего ускорения появляются и резко возрастают силы инерции, прижимающие иглу к седлу тем дольше по t , чем больше M , а на осциллограммах фиксируются явные МНДИ, когда сила от давления топлива на иглу снизу станет больше силы, действующей на иглу сверху: на $(M_{пл}d^2u/dt^2 + F_{тр} + \delta u)$ при ФП и на $(M_r d^2u/dt^2 + F_{тр})$ при ФГ, причём M и $F_{тр}$ при ФГ меньше, т.е. $(p_{фолд} - p_{фолс}) < (p_{фолд} - p_{фолс})$. Эту мысль подтверждает и то, что по данным Ю.Я.Фомина и И.В.Астахова разность $(p_{фолд} - p_{фолс})$ возрастает с ростом n_H и не зависит от $V_{ц}$ при $n_H = \text{const}$.

В главе 3 представлены результаты НИОКР по разработке, созданию ТС с ФГ и исследованию путей повышения эффективности работы ТС и дизелей. Исследования на безмоторном стенде проводились в КФ ВЗПИ сотрудниками МВТУ, КТЗ, КФ ВЗПИ. Параметры ПВ визуально наблюдались с экрана осциллографа типа «Орион» и записывались двумя сблокированными Н-102 в комплексе с УТС-1-ВТ 12/35 и ИД-2И; индуктивными преобразователями давлений (ПД) для p'_H, p_ϕ, p_i ; индуктивными преобразователями перемещения иглы (ИППИ), разработанного, используя опыт МИИТ; тензометрическим ПД для p_c , совмещённым с отъёмным сопловым наконечником (ОСН), выполненным путём уменьшения наружной цилиндрической части ОСН (рис.7). Для исследований на дизеле ОД-49 в проблемной лаборатории каф.Э-2 были разработаны: автономная передвигная система гидрозалипания; ТПД для p'_H, p_ϕ, p_i ; ИППИ, причём применение втулки толщиной 0,7-0,8 мм (рис.8) вместо использовавшегося ранее каркаса дало возможность удобно заливать катушку эпоксидной смолой, повышая надёжность работы, что нашло применение и в дальнейшем при исследовании ПВ в ДВС и автотрак-

торного назначения. Определялись параметры по всем записанным последовательным циклам (ПЦ) и строилось поле изменения (разбег) каждого параметра в ПЦ для оценки УРФ, ТС и дизелей. Считалось, что УРФ повышается, если разбег параметров в ПЦ сужается. С ростом $p_{\text{до}}$ уменьшаются $b_{\text{ц}}$ и $\varphi_{\text{впр}}$, причём влияние $p_{\text{до}}$ проявляется сильнее по мере снижения $b_{\text{ц}}$ и $n_{\text{н}}$. Если на режимах средних, номинальных нагрузок и частот (ННЧ) с ростом $p_{\text{до}}$ возрастает $p_{\text{с}}$, то на ХХ, МНЧ из-за уменьшения $S_{\text{н}}$ и дросселирования под иглой и дальнейшего расширения топлива в каналах до СОР снижается $p_{\text{с}}$ и ухудшается УРТС. На ХХ с уменьшением $p_{\text{до}}$ сужается разбег параметров ПВ в ПЦ; при ФГ меньше $\varphi_{\text{впр}}$, $\varphi_{\text{под}}$, $\varphi_{\text{пос}}$, но больше u и $p_{\text{с}}$, например, при $p_{\text{до}}=16$ МПа: с ФГ $\Delta p_{\text{стmax}}$ сужается до 0 и $p_{\text{стmax}}=10,2$ МПа, в то время как с ФП $p_{\text{стmax}}$ колеблется от 6 до 7,7 МПа, т. е. $\Delta p_{\text{стmax}}=1,7$ МПа. Большие $p_{\text{о}}$ и $p_{\text{с}}$ с ФГ обусловлены меньшими M и перетечками из-за гидродоппора со стороны НП, подпиткой ЛВД в периоды между ПВ, большими $S_{\text{н}}$ и СПИ, повышающими $p_{\text{онач}}$, положительное влияние которых сильнее проявляется со снижением $p_{\text{до}}$ ($p_{\text{о}}$ более чем в 2 раза выше, чем при ФП). Таким образом, на ХХ, МНЧ с уменьшением $p_{\text{до}}$ повышается УРФ, причём обеспечивается более УРФГ, выше $p_{\text{о}}$, $p_{\text{онач}}$. При серийном $p_{\text{до}}=p_{\text{до}}=32$ МПа в диапазоне $b_{\text{ц}}=0,3-1,1$ Г УРФГ наступает при меньших $n_{\text{н}}$ (на 30-75 мин⁻¹), чем УРФП. При этом ТС с ФГ работает без РДПВ на всех $p_{\text{до}}$ (16; 22; 32; 43 МПа) с $n_{\text{нном}}=500$ мин⁻¹ даже с $b_{\text{ц}}^{\text{max}}$, в то время как с ФП даже с серийным $p_{\text{до}}$ на $n_{\text{н}}=500$ мин⁻¹ уже при $b_{\text{ц}}=1$ Г работает с РДПВ, в результате чего $\varphi_{\text{впр}}$ значительно больше, чем при ФГ (рис.9). Увеличение $\varphi_{\text{впр}}$ при ФП происходит в результате роста $\varphi_{\text{пос}}$ из-за малой СПИ и больших M , где основную часть составляет ЭВ, что и вызывает РДПВ, чему способствует и уменьшение δ по мере посадки иглы, в то время как при страгивании иглы ФГ вниз возрастает площадь воздействия $p_{\text{г}}$, сообщая ей дополнительное ускорение, чему способствует и меньшая $M_{\text{г}}$. Исследования на отсеке, подтверждая результаты теоретических и безмоторных исследований, показали, что для каждого режима имеется оптимальное $p_{\text{до}}$ и с ростом $N_{\text{е}}$ и n целесообразно повышать $p_{\text{до}}$, что влияние его на ХХ, МНЧ сильнее проявляется с понижением n , особенно при ФП. Оптимальное регулирование $p_{\text{до}}$ на ХХ, МНЧ уменьшает $G_{\text{т}}$ на 8-20 % при ФП, а при ФГ - дополнительно на 2-6,5 %, причём из-за роста $\varphi_{\text{впр}}$ и ухудшения качества распыливания топлива (КРТ) при каждом из отрывов и посадок игл ПДПВ приводит к росту $G_{\text{т}}$. На всех индикаторных диаграммах ХХ, МНЧ имеет место разброс точек на линии сгорания-расширения, достигающий 1-1,2 МПа в зоне $p_{\text{з}}$, что объясняется не погрешностью записи диаграмм, а неустойчивостью рабочего процесса (РП). Наиболее характерными параметрами для оценки устойчивости РП (УРП) являются $p_{\text{з}}\Delta p/\Delta\varphi$, $p_{\text{г}}$; со снижением $p_{\text{до}}$ сужаются зоны разброса их, но они шире при ФП (рис. 10). В целом форма и размеры зон разброса $p_{\text{з}}$, $\Delta p/\Delta\varphi$, $p_{\text{г}}$ обусловлены характером работы ФРТ: НУРФ вызывает разброс значений их и тем больший, чем хуже работают форсунки. О более КРТ при ФГ свидетельствует уменьшение $\tau_{\text{г}}$ на 1-3 °ПКВ для большинства режимов, причём характер изменений $\tau_{\text{г}}$ на ХХ свидетельствует о более сильном влиянии $p_{\text{до}}$ на $\tau_{\text{г}}$ при ФП, что также говорит о более КРТ при ФГ, так как чем совершеннее процесс, тем меньше влияние регулируемого параметра на процесс. С понижением n от 1000 до 300 мин⁻¹ $\tau_{\text{г}}$ уменьшается на 8-17 °ПКВ, а в мс $\tau_{\text{г}}$ возрастает в 1,5-2 раза, а не в 3,33 раза, как это должно было бы быть при обратно пропорциональной зависимости $\tau_{\text{г}}$ от n . Это служит основанием полагать, что с понижением n условия для воспламенения топлива ухудшаются, но не пропорционально n . По-видимому,

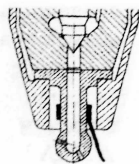
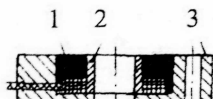


Рис. 7. Соплетензопреобразователь



1-капюшка; 2-втулка текстильная; 3-корпус преобразователя
Рис. 8. ИППИ

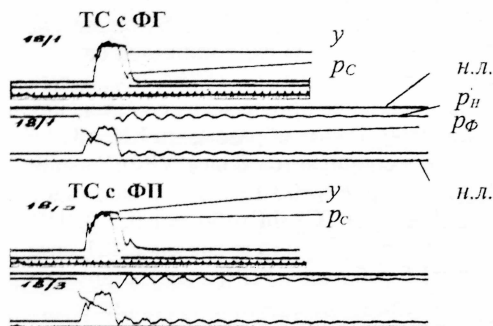


Рис. 9. Осциллограммы ПВ в ТС с ФГ и ФП при $b_H=1,0$ Г; $n_H=500$ мин⁻¹ и $p_{\infty}=32$ МПа

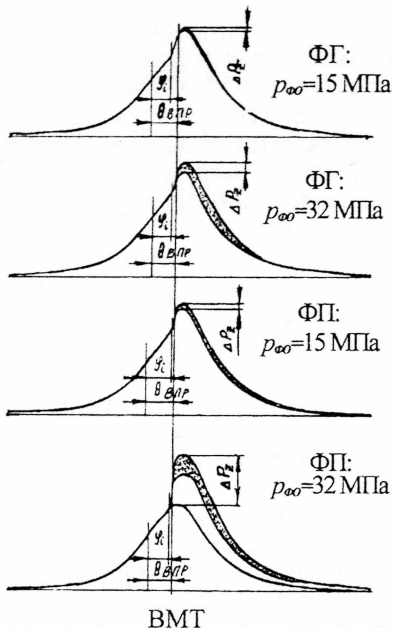


Рис. 10. Индикаторные диаграммы XX дизеля ОД-49 при $n=300$ мин⁻¹

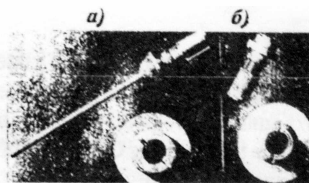
наряду с ухудшением КРТ, уменьшениями T_c и p_c с понижением n могут иметь место и положительные факторы, например, местные, более благоприятные, соотношения количеств воздуха и паров топлива. Учет утечек и перетечек топлива и ЗЖ при расчете и анализе ПВ, проведении сравнительных экспериментов позволил доказать, что рост экономичности дизелей с ФГ-не кажущийся, а следствие улучшения ПВ из-за более быстрых и четких подъемов и посадок игл, уменьшения ϕ_{BPR} , чему способствует и меньшая M_T , что в сочетании с гидроподпором повышают p_o, p_{ϕ}, p_c , в результате чего после каждого цикла в ЛВД при ФГ аккумулируется больше топлива (G_{TP}) из-за больших p_o , чем в ТС с ФП (G_{TP}), причём $\Delta G_O = G_{TP} - G_{TP0}$ значительно превышает измеренные утечки ЗЖ.

Для повышения эффективности работы ТС и дизеля целесообразно регулировать p_{∞} в зависимости от режима, что даёт возможность корректировать тяговую характеристику ДВС и что достигается в ТС с ФГ на работающем дизеле. На дизеле Д-49 на ХХ, МНЧ рекомендуется снижать p_{∞} с 32 до 15-22 МПа. Установление при ФГ p_{∞} , оптимального для каждого режима, уменьшило среднее эксплуатационное G_T дизеля 8 ЧН 26/26 первого выпуска на 8 %, а понижение p_{∞} с 32 до 22 МПа снизило $n_{x\min}$ с 350 до 200 мин⁻¹.

В главе 4 изложены результаты НИОКР по разработке, созданию, исследованию, внедрению и совершенствованию дизельных ТС с ФГК, выполнявшихся и по х/д с АМЗ (АО «Алтайдизель»). На базе серийной ТС дизелей АМЗ разработаны различные варианты ТС с ФГК. Начиная с 1972 г, созданы и постоянно совершенствовались установки с дизелями А-41, Д-440, например, они оборудованы расходомерами топлива (типа Д), муфтой Θ_{BPR} , позволяющей на работающих ДВС регулировать Θ_{BPR} , компактной системой рециркуляции ОГ (РОГ), размещающейся под капотом трактора ДТ-75 с А-41. Разработаны ИППИ применительно к форсун-

кам автотракторных ДВС, материалы по которым переданы АМЗ, ЦНИГА (по запросу), НАТИ, КамАЗ и другие организации; комбинированный ИПП НК и ТПД p_H ; ПД: p_c (типа ЦНИГА), p_o (на входе в ФРТ), p_r ; устройства и способы для регулирования: ФГК на $p_{фоп}$ и $p_{фo}$ (а.с. 1086206 СССР); $\phi_{пл}$ до ВМТ плунжера ТНВД с РНК и $\Theta_{впр}$ после установки ФГК и ТН с РНК (рис. 11) на дизель (а.с. 1837117 СССР, патент 2933 КЗ).

Сравнительные исследования ФГК и ФП при $p_{фоп}=10; 12,5; 14; 15,5; 17,5$ МПа; $\Theta_{впр}=17; 20; 23; 29; 33$ °ТКВ до ВМТ; $\delta_r=\delta_r^{оп}$ (плотностью 5 с и выше); 5; 6; 9; 10; 15; 20 мкм и $V_{гo}=8; 9,8; 10,7; 13,8$ см³ показали,



а) РНК (после разгерметизации седла) с сердечником для осциллографирования; б) Плоский РНК без уплотнительных конусов (УК).
Рис. 11. Разгерметизированные нагнетательные клапаны (РНК и ПРНК)

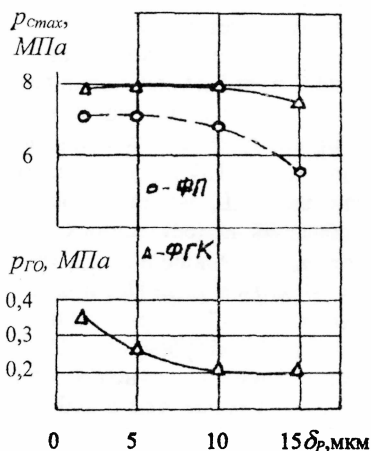


Рис. 12. Зависимости p_{max} и $p_{го}$ при $n_H=300$ мин⁻¹ и $V_{гo}=20$ мм³

что регулируя $p_{фo}$ и $\Theta_{впр}$, можно снизить g_o , G_T , $n_{сстпн}$. Например, на N_{en} и $M_{кmax}$ регулируя $p_{фоп}$, можно уменьшить g_e на 5-7 г/(элсч), на такую же величину снижается g_e при оптимальном $\Theta_{впр}$, причем по мере понижения N_e и n уменьшаются оптимальные значения $p_{фоп}$ и $\Theta_{впр}$. На XX, МНЧ оптимальные $p_{фоп}$ и $\Theta_{впр}$ уменьшают G_T на 10-18 % и $n_{сстпн}$ на 20-30 мин⁻¹. С ФГК при исследованных $p_{фоп}$ и $\Theta_{впр}$ меньше G_T на 0,1-0,85 кг/ч как от устранения слива дренажного топлива на землю (СДТ), так и улучшения ПВ (из-за гидродоппора растет $p_{впр}$ и сокращается ЭВ, чему способствует и рост δ_r). Если при ФП по мере роста δ_r снижается G_T на 1-4 %, подтверждая исследования НАТИ, ВТЗ, НЗТА, АМЗ, ЯЗТА, ТПИ, МАДИ, МВТУ и др. организаций, то при дальнейшем увеличении δ_r уменьшаются p_c (рис. 12) и $V_{гo}$, что приводит к росту G_T и падению N_e , например, при $\delta_r=15-20$ мкм на 10 % и более падает $V_{гo}$ по сравнению с $\delta_r^{оп}$ (при

$\delta_r=15$ мкм за 2 ч работы дизеля А-41 на землю сливается более 1,5 л топлива, причем при $\delta_r=\text{const}$ СДТ прямо пропорционален G_T , в связи с чем изношенные распылители (ИР) при ФП выбраковываются). При ФГК улучшение показателей ДВС тем заметнее, чем больше δ_r или ИР; $V_{гo}$ практически не зависит от δ_r , например, на всем диапазоне режимов при $\delta_r=15-20$ мкм G_T снижается на 4-10 %, p_c на 0,3-0,5 МПа, $\Delta p/\Delta r$ на 0,2-0,25 МПа/град, что подтвердили рядовые испытания (РЭ) с рекомендованными для внедрения $\delta_r=6-9$ мкм на 48 дизелях А-41 и А-01М. В Павлодарской МИС торможения дизеля А-41 проводились после 500 и 1046 ч: g_e на режиме N_{en} составил соответственно 178 и 176 г/(элсч), а на $M_{кmax}$ 185 и 184 г/(элсч), т.е. по мере износа даже ИР с $\delta_r=6-9$ мкм уменьшается g_e ! Такие же данные получены и в лабораториях при $\delta_r=6-9$ мкм, когда на N_{en} уменьшился g_e со 183 (ФП) до 177,8 г/(элсч) при ФГК (при ФП с $\delta_r^{оп}=2-3$ мкм - $g_e=185$ г/(элсч)), а на режиме $M_{кmax}$ со 187 (ФП) до 181 г/(элсч) при ФГК. Установлено, что $\phi_{гo}/dt$ в ряде циклов от

момента запуска ТС или дизеля до достижения $p_{гоmax}$ возрастает с ростом δ_r , хотя $p_{гоmax}$ меньше. В рабочем диапазоне n_H от 300-350 мин⁻¹ при $V_{цmin}=16-20$ мм³ до 875 мин⁻¹ при $V_{цном}$, а также при $n_{Hцmax}=945$ мин⁻¹ и $n_{Hпуск}=125$ мин⁻¹ ($V_{ц}=150$ мм³) с ростом δ_r возрастает СДГ при ФП, а при ФГК понижается $p_{го}$ (рис. 12), повышая $p_{онач}$, из-за роста количества топлива (КТ), перетекаемого в периоды между ПВ в ЛВД, что отражается на характеристиках ТС по δ_r , которые более благоприятны при ФГК, причём на ХХ, МНЧ при ФГК выше и стабильность ПВ по циклам и секциям, выше и $r_{впр}$ (рис. 12). И это тем заметнее, чем больше δ_r , что свидетельствует о возможности использования распылителей с повышенными δ_r или ИР, продляя сроки службы их и используя более эффективно ИР. Выявлена возможность расширения диапазона рабочих режимов ТС при ФГК с $\delta_r=3,3-20$ мкм. Так, ТС с ФГК можно форсировать до $V_{ц}=180-190$ мм³ при $n_H=875-1000$ мин⁻¹ и уменьшить $V_{цmin}$ до 5-10 мм³ при $n_H=125-200$ мин⁻¹. Если в ТС с ФП по мере роста δ_r , n_H , l_p , $r_{фоп}$ возрастают $V_{цут}$ (с уменьшением выдвигания рейки l_p они соизмеримы с $V_{ц}$) и при малых l_p топливо полностью сливается на землю ($V_{ц}=0$), то в ТС с ФГК из-за гидродоппора повышаются $r_{онач}$ и $r_{ф}$, что и является причиной повышения $r_{впр}$ и УРФГК, особенно заметные при больших δ_r . Резкие возрастания r_r и $p_{го}$, приводящие к потере работоспособности ФГК из-за ГЗИ, наблюдаются при чрезмерно больших $V_{ц}$ и n_H ($V_{ц}\geq 190$ мм³; $n_H=1000$ мин⁻¹), а также при малых n_H и $V_{ц}$ стремящихся к 0. Если ГЗИ при больших $V_{ц}$ и n_H происходит из-за роста $r_{онач}$, $r_{ф}$, $r_{впр}$ и уменьшения t и время-сечения по δ_r в периоды между ПВ, когда топливо не успевает перетекать в ЛВД и, постепенно накапливаясь в ПЦ, вызывает рост r_r и $p_{го}$, то ГЗИ при малых n_H и $V_{ц}$ происходит из-за малых $r_{ф}$, недостаточных для стабильных подъёмов иглы, особенно по мере роста $r_{ф0}$ и уменьшения $\mu_{фс}$, в результате чего топливо перетекает в НП, повышая $p_{гоp_{ф0p_{ф0}}}$ в ряде ПЦ, и через десятки или сотни ПЦ наступает ГЗИ. Не удалось устранить ГЗИ: при увеличении $V_{го}$ от 8 до 13,8 см³, при перепуске топлива из НП каждой форсунки в ЛВД любой другой форсунки и даже при объединении НП всех форсунок дизеля общим коллектором, т.е. даже тогда, когда $V_{го}$ всех НП более чем в 300 раз превышал $V_{цном}$, что противоречит пат. 3948446 США, в котором для устранения ГЗИ $V_{го}$ в 150 раз превышает $V_{цном}$. В эксплуатации резкие повышения r_r и $p_{го}$, вплоть до ГЗИ, возможны при $V_{ц}$, меньших 16-20 мм³ и имеющих место на режимах принудительного ХХ (ПХХ) с отрицательным моментом на валу, например, при прокрутке во время запуска или при движении машины с грузом под уклон. Имитации запуска с разными положениями рейки ТН от упора (l_{py}), т.е. от положения "Выключено", показали, что прокрутка при малых l_{py} приводит к росту r_r и $p_{го}$. С ростом δ_r при ФП резко возрастает СДГ, а при ФГК-возможность ГЗИ. Но ГЗИ нет при $l_{pmax}=13,8$ мм, т.е. при пусковой $V_{цпуск}=150$ мм³. Для дизелей АМЗ значения l_{py} , при которых наступает ГЗИ на ПХХ, возрастая с ростом δ_r , составляет 3-5 мм, а ХХ соответствуют $l_{py}=6,5-7$ мм. Поэтому одним из возможных путей устранения ГЗИ и нежелательных последствий при пуске и работе дизелей на ПХХ является ограничение l_{py} в сторону уменьшения $V_{ц}$ или выключение подачи топлива. Для устранения ГЗИ были выданы АМЗ рекомендации: при запуске дизеля рычаг управления подачей топлива устанавливать в положение «Выключено», а после прокрутки и включения декомпрессионного механизма в положение «Максимальная подача». Испытания ФГК с этими рекомендациями на А-41, А-01М, включая 800-ч заводские и РЭИ в течение 5000-6000 ч в подшипных

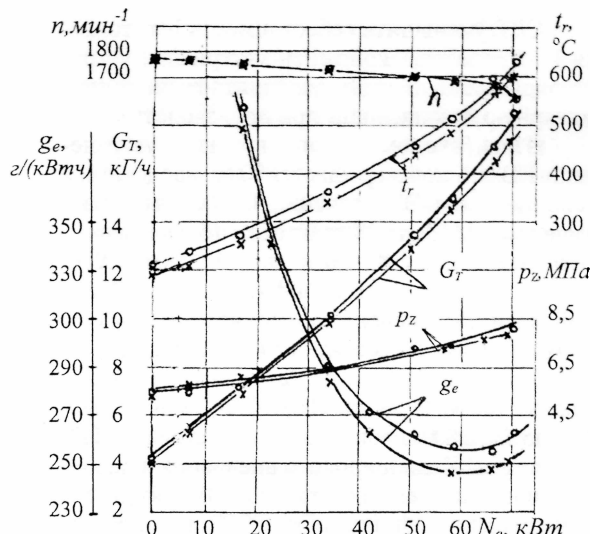


Рис. 13. Сравнительные РХ дизеля А-41 с ФРТ, различными НК, δ_r и $p_{\text{фол}}$ (распылитель типа 6А1-20с1Б):
о - ТС с ФПГ и НК с $p_{\text{фол}}=17,5$ МПа и $\delta_r=2-3$ мкм;
х - ТС с ФПГ и РНК с $p_{\text{фол}}=12,8$ МПа и $\delta_r=8-9$ мкм

хозяйствах АМЗ и на 48 тракторах и бульдозерах показали хорошие пусковые качества и отсутствие ГЗИ не только при пуске, но и на всех режимах, включая и режимы ПХХ. По мере эксплуатации δ_r растёт и через 400-500 ч возрастает до 6-10 мкм, а затем стабилизируется. В этой связи рекомендованные для внедрения с ФГК $\delta_r=6-9$ мкм-оптимальны. Разработаны и созданы ТС с ФГК и перепуском топлива в периоды между ПВ из НП через ЛВД в ЛНД с помощью НКДД и РНК. Особенно перспективны ТС с ФГК и РНК, позволившие устранить ГЗИ при изменении $V_{\text{ц}}$ от 0 до 290 мм³ и $n_{\text{нот}}$ от 0 до 1000 мин⁻¹ с комплектами распылителей с δ_r , равными 3,3; 10; 15; 20 мкм, и $\mu_{\text{фс}}$, равными 0,25 (серийные); 0,184;

0,160; 0,136 мм², т.е. при уменьшении $\mu_{\text{фс}}$ (или возможном закоксовывании СОР) на 46,6 %, причём обеспечивается более сильная коррекция характеристик ТС с ФГК и РНК, а плоский РНК без УК упрощается и кривые g_e (рис. 13) меньше на 5-30 г/(элсч). В рабочем диапазоне режимов $p_{\text{то}}$ изменяется от 0,2 до 1,3 МПа, достигая максимума на $N_{\text{об}}$ что изменяет $p_{\text{фол}}$, $\Theta_{\text{впр}}$, т.е. при ФГК происходит саморегулирование $p_{\text{фол}}$, $\Theta_{\text{впр}}$ в зависимости от режима, причем наилучшие показатели дизелей достигаются при $p_{\text{фол}}=12,5$ МПа, снижая дымность ОГ на 40 %.

В главе 5 оценивается научно-практическое значение и технико-экономическая эффективность результатов НИОКР, а также прогнозируются пути дальнейшего совершенствования ПВ и рабочего процесса ДВС (РП ДВС). Практически ценно, что стабилизация и интенсификация ПВ достигаются регулированием (ФГ) и саморегулированием (ФГК) $p_{\text{то}}$, p_r , $p_{\text{фол}}$ и остальных параметров ПВ в зависимости от режима. По акту внедрения КТЗ (1971) только от создания тепловозного ДГ (20 ЧН 26/26) мощность 6000 л.с. при выпуске 47 ДГ в год ГЭЭ составил 2,5 млн. руб (везде курс рубля по дате актов), а по акту от 1972 г ГЭЭ от внедрения рекомендаций и предложений по тепловозному дизелю 6Д49 (6 ЧН 26/26) при выпуске 200 штук в год составил свыше 590 тыс. руб, в которых отмечается, что разработаны варианты распылителей и рекомендовано применение ФГ для снижения $n_{\text{состин}}$ и улучшения РП ДВС со значительным улучшением экономичности дизелей на ЧН, особенно на ХХ, МНЧ, что разработана методика уменьшения устойчивых $n_{\text{состин}}$ и это должно улучшить работу дизелей по G_T на ХХ, МНЧ примерно на 6 %. Прогноз подтвердился: установление $p_{\text{фол}}$, оптимального для каждого режима, снизило среднеэксплуатационный G_T дизеля 8 ЧН 26/26 первого выпуска на 8 %, а уменьшение $p_{\text{фол}}$ с 32 до 22 МПа понизило $n_{\text{состин}}$ с 350 до 200 мин⁻¹, что важно для маневровых тепловозов, эксплуатирующихся до 60-69 % времени на ХХ.

ТС с ФГК позволяет отказаться от ССДТ, уменьшить себестоимость изготовления, ремонта и техобслуживания ТС и дизелей, экономить материалы, устранить СДТ на землю и не загрязнять окружающую среду, улучшить гигиену труда и повысить экологическую и пожарную безопасность при производстве, эксплуатации и техобслуживании ТС и дизелей, экономить топливо как от устранения СДТ, так и от совершенствования ПВ, что подтверждается 800-ч заводскими и рядовыми эксплуатационными испытаниями (РЭИ) в течение 5000-6000 ч на дизелях А-41 и А-01М в подшефных хозяйствах АМЗ, на 48 тракторах и бульдозерах в 6 хозяйствах Павлодарской обл. и на дизеле ЯМЗ-238 автомобиля МАЗ-500 на АТК-21 в г. Домодедово Московской обл. (переоборудование ЯМЗ-238 на ТС с ФГК и РНК и разгерметизация штатных НК были произведены в условиях АТК-21). ГЭЭ при программе выпуска 1976 г от уменьшения себестоимости дизелей с ФГК составил 248,4 тыс., от устранения СДТ на землю-5530 тыс. руб. Расчёт проводился по методике НАТИ по данным Поволжской МИС: за год (1300 ч) на землю сливается с каждого дизеля А-41 и А-01М по 530 и 800 кг топлива соответственно. ФГК была рекомендована ПИИ, АМЗ и Минвузом РК для широкого внедрения в народное хозяйство. В 1977 г по предложениям «Казсельхозтехники» и Минсельхоза РК, «Союзсельхозтехники», Минсельхозмаша и Минсельхоза СССР, их головных институтов соискателем и сотрудниками АМЗ, облсельхозуправления, «Казсельхозтехники» и треста «Павлодарпромстрой» были переоборудованы на ФГК с $d_p=6-9$ мкм 48 тракторов и бульдозеров с дизелями А-41 и А-01М в 6 хозяйствах Павлодарской обл. и организованы РЭИ (АМЗ с участием соискателя подготовил документацию для внедрения ФГК в производство и эксплуатацию). В акте АТК-21: в ТС с новым рабочим ПВ, т.е. в ТС с ФГК, РНК и изношенными распылителями (ИР), уменьшается запыляемость СОР, улучшается гигиена труда и пожаробезопасность механиков и водителей. Все хозяйства констатируют необходимость широкого внедрения ФГК, которые можно укомплектовывать ИР, а также то, что они зачастую не могут собрать из 20-30 распылителей плотностью 5 с и выше один комплект из 4 (А-41) и 6 (А-01М) распылителей из-за прихватывания иглы ФП при сборке.

В соответствии с протоколами совещаний «По рассмотрению технического уровня тракторов ДТ-75, ДТ-75М, Т-75Б и двигателей А-41, СМД-14Г на ВТЗ (11-14 марта 1977 г); МТЗ-80Х, МТЗ-80Х2, Т-4А и Т-28Х4М в САМИС (23-25 марта 1977 г) с целью разработки мероприятий по доведению их ресурса до требований высшей категории качества (ТВКК)» устранение СДТ на землю и внедрение в производство ФГК были включены в «Мероприятия по повышению технического уровня и качества дизелей А-41 и А-01М с целью доведения их конструкций до ТВКК», утверждённые Минсельхозмашем 6.6.1977 г. Работы по форсунке 6А1-20с1 с ФГК были включены в план Минсельхозмаша на 1979 г по теме: «Внедрение комплекса мероприятий, обеспечивающих ресурс работы форсунок 8000-10000 ч с заменой распылителей не ранее 5000 ч на двигателях СМД-14, Д-240, СМД-60, Д-85Н, АМЗ, ВТЗ и утверждение ресурса в установленном порядке». ФГК находилась на контроле комиссии ГКНТ по внедрению в производство результатов законченных НИР ВУЗов. На дизелях АМЗ (1980) СДТ на землю был устранён. ГЭЭ от снижения себестоимости дизелей с ФГК составил 324988 руб при программе 1981 г. В акте Павлодарского облсельхозуправления от 1983 г: по данным РЭИ при однократной вспашке пахотных земель области экономится 6918436 л (5769976 кг) топлива, что при цене 70 руб/т составил 403898 руб. В отзыве на результаты обобщения

РЭИ на 48 тракторах и бульдозерах «Казгоскомсельхозтехника» считает целесообразным широкое внедрение, прежде всего в сельскохозяйственном производстве, ФГК с учётом последних разработок ПНИИ (ПГУ).

Разработаны разные варианты ТС с ФГК и РНК, устраняющие ГЗИ при изменении $V_{ц}$ от 0 до 290 мм³ и n_H от 0 до 1000 мин⁻¹ и выше. Коваль И.А., Симсон А.Э., Лушицкий Ю.В. [Двигателестроение. - 1980. - № 1. - С. 45-47] приводят диапазоны режимов по t и N_e при работе тракторного дизеля по регуляторной характеристике (РХ) за весь период эксплуатации. Используя эти данные, произведена сравнительная оценка эффективности дизеля А-41 (рис.13): с ФГК и РНК по сравнению с серийной ТС за 1300 ч экономятся 481,87 кг или 577,78 л топлива, средние эксплуатационный G_f снижается на 0,383 кг/ч (0,459 л/ч) и оптимальное $p_{фоп}$ меньше на 5 МПа. ТС с ФГК ещё больше упрощается при использовании ПРНК (рис.11): УК уже не уплотняют, а только ограничивают движение НК при посадке. Наряду с УК ликвидируются дорогостоящие оборудования по изготовлению и притирке УК, незавершённое производство и брак с одновременным улучшением гигиены труда, экологической и пожарной безопасности, так как ликвидируются самые трудоёмкие и бракоёмкие операции по шлифовке и окончательной притирке УК, а также выполняемые вручную операции по нанесению пасты на УК и зачистке заусенцев, по промывке их в бензине, а затем в дизтопливе, что снижает себестоимость сборки ПРНК на 69,4 % с ростом производительности труда на 305 %, не расходуются бензин и дизтопливо, находящиеся в цехе в открытых ёмкостях, трудоёмкость контрольных операций снижается на 231 %. При изготовлении запорного органа (ЗО) упрощаются заготовка и инструменты, повышаются надёжность и сроки службы ПРНК, так как возрастают площади ударных поверхностей с $R_a=1,25$ мкм на седле и ЗО по сравнению с площадью по УК с $R_a=0,25$ мкм.

На основе работ И.В.Астахова, М.С.Ховаха, Л.Н.Голубкова, Я.Н.Аннаева, Г.М.Михайлова, М.И.Байдукова, Н.И.Корабельщикова, А.П.Попельшко, Б.Б.Цыбикова показана целесообразность использования ФГ и на автотракторных дизелях. Для регулирования параметров ПВ и уменьшения $n_{схmin}$ были разработаны ФГ с изменяющимся μf_c (3 заявки на имя МВТУ). Соискателем выполнены рабочие чертежи ФГ со ступенчатым ПВ для тракторного (СМД) и тепловозного (ЧН 26/26) дизелей, согласованные с КТЗ: опыт технологической обкатки показал работоспособность конструкции с внутренней иглой в виде прецизионного клапана и пригодность для дальнейшей доводки РП ДВС. Например, у дизелей типа ЧН 26/26 $n_{схmin}$ удалось понизить с 350 до 212 мин⁻¹, $b_{схmin}$ с 0,07 до 0,045 Г, что привело к снижению G_{Tmin} при $n_{схmin}$ на 20 % (С.Г.Роганов, В.Н.Ищенко). Два ряда СОР ФГ [32] перекрываются двумя иглами, запираемыми топливом. В ТС с ФГ [35,36,44,49,61,62] могут быть использованы форсунки по а. с. 1186820 СССР и пат. 982 KZ: оригинальность их в том, что кольцевая полость охлаждения (КПО) выполнена на сопряжённых поверхностях распылителя и отъёмного соплового наконечника (ОСН), охлаждающая распылитель поступающим в КПО топливом. В периоды между ПВ топливо из СГФ [35,49] через НП и обратный клапан (ОК) ФГ поступает в ЛВД, охлаждая одновременно распылитель. В отличие от них ФГ [36,62] снабжена распылителем с КПО: вход сообщён с управляющей НП, а выход - через ОК с ЛВД. Оригинальность [35,36,49,62] в том, что СГФ и ЛВД выполняют в периоды между ПВ роль ЛНД с $p_{то}$, т.е. разработана ТС с изменяемой структурой. В ТС [44,61] ЗЖ

(топливо) подаётся в КПО, между которой и баком или аккумулятором и НП расположен перепускной клапан, обеспечивающий необходимое $p_{то}$ в СГФ в зависимости от режима (в решении Контрольного Совета ВНИИПТЭ: организация, куда отправлялись материалы [44,61] для заключения, рекомендует её для промышленного использования). КПО по а. с. 1100417 СССР и пат. 981 KZ связана с НП, а НП с ЛНД, что позволяет охлаждать форсунку топливом, поступающим в ЛНД, а в [34] топливо в КПО отбирается из ЛНД через НП (4 варианта). Эти ТС могут работать на высоковязких топливах. В обзоре "Пути снижения ДТОГ" [Тракторы и двигатели: ЦНИИГЭИ тракторосельхозмаш.-1982.-№ 8.-62 с.] дано полное описание форсунки с двумя рядами СОР по а. с. 745761 СССР [пат. 974 KZ] как одно из перспективных решений для снижения ДТОГ.

Фирмы "Robert Bosch", "Tatra" и "Liaz" среди работ по совершенствованию ТС выделяют работы по созданию ТС с ФГК, а фирма "Motorpal" относит ФГК к перспективным для дизелей с N_e от 5 до 3500 кВт, в том числе и с цилиндровой $N_e=30-60$ кВт. По прогнозам фирмы, наладившей серийное производство, ФГК будет главным типом форсунок для ТС, разные модификации которой будут основой производственной программы. ТУ (Брно) и НИИ двигателей и автомобилей (Прага) разработали для высокооборотных ДВС (ВД) новое поколение миниатюрных ФГК (МФГК) с $d_{гф}=3$ мм с многодырчатым (МР) и шпифтовым (ШР) распылителями: наружный $D_r=11,3$ мм, а диаметр входящей в камеру сгорания (КС) удлиненной части $d_r=6$ мм; длина по D_r равна 15 мм; общая длина МР-50,4 мм, результаты НИОКР которых одобрены на конгрессе СИМАК (Париж, 1983), на MOTOR-SYMPO (Высокие Татры, 1982, 1984), на 14-ой конф. силовой и транспортной техники (Karl-Marx-Stadt, 1984). Вся длина ФГК со ШР равна 70 мм. МФГК с МР ($d_{гф}=3$ мм, 5 отверстий с $d_c=0,35$ мм) при $d_{гф}=11$ мм и $C_{лmax}=1,8$ м/с обеспечивает $V_{гф}=196$ мм³ при $n_{гф}=1000$ мин⁻¹ ($p_{фол}=13$ МПа, $p_{ф0}=28$ МПа; предполагается повысить $p_{ф0}$ до 40 МПа). Небольшие размеры МФГК хорошо согласуются с размерами ВД. Можно создать МФГК на основе ТС с ФГК и РНК, прошедших РЭИ, и ТС по а. с. СССР 1030571, 1416736, 1413737, 1492075, 1758272, 1825890; по патентам [37,47,50-52,54-56], причём ступенчатый ПВ по [52] имеет преимущество: внутренняя и наружная иглы расположены концентрично, но не образуют прецизионную пару друг с другом. Для отключения подачи топлива (ХХ, МНЧ) использовано явление ГЗИ [40,54], когда на отключаемые цилиндры устанавливаются ФГК, а на соответствующие секции насоса ГНК.

В ТС (рис.14-16) топливо из НП каждой форсунки (Ф) перепускается в ЛВД 2, 3 или 4-ой Ф согласно порядку работы секций ТН. Повышение экономичности дизеля объясняется стабилизацией и интенсификацией ПВ, особенно с плоским РНК, так как к началу ПВ повышается $p_{нач}$ из-за подпитки ЛВД топливом из: V_n через РНК; НП предыдущей Ф через ДОК и НП работающей Ф через d_r . Преимущество РНК и в том, что к концу ПВ в каждой секции уменьшается p_o из-за перетекания топлива через РНК в ЛНД даже после посадки запорного органа, подогревая топливо в баке. При работе по РХ (рис.17) за 1300 ч на каждом дизеле А-41 экономится 1801 кг топлива от устранения СДТ на землю (1005,23 кг при $d_r=8-9$ мм) и совершенствования ПВ (795,77 кг). Целесообразно использовать ТС с ФГКП и ПРНК на различных дизелях. Некоторое удорожание ТС из-за ДОК быстро окупается, особенно с ПРНК: ДОК изготавливались с участием студентов в лабораториях ДВС ПГУ из деталей серийной ТС. Снижение $p_{фол}$ уменьшает напряжение в пружинах и других деталях механизма запираания, причём $p_{фол}$ можно уменьшить ещё больше, если интенсивно подпитывать ЛВД до начала ПВ в каждой Ф

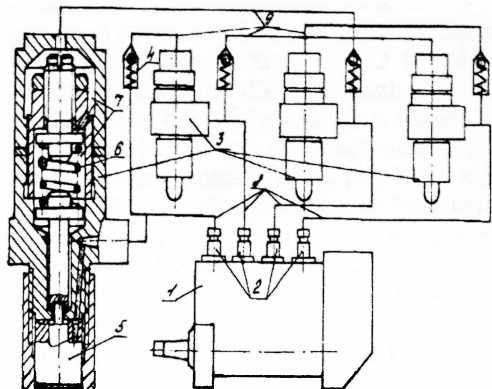


Рис. 14. ТС с перепуском топлива из НП каждой форсунки в ЛВД любой другой форсунки (ТС с ФГКП) со схемой перепуска 1-3-4-2-1 по а. с. 1134757 СССР

ССДТ

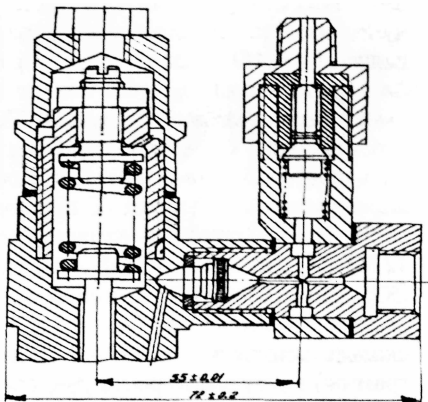


Рис. 15. Устройство для перепуска топлива в ТС с ФГКП для дизелей типа А

Рис. 16. ТС с ФГКП со схемой перепуска 1-3-4-2-1 и ТС с ФП и ССТ (при переходе на ТС с ФГКП убирается ССТ и НП форсунок заглушаются манометрами или болтами; на фотографии показана ТС с ФП и ССТ)

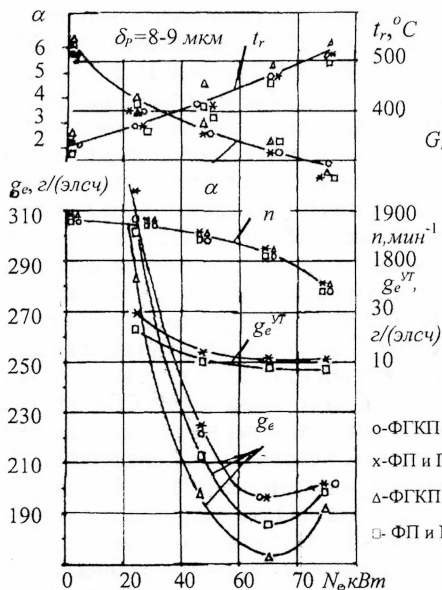
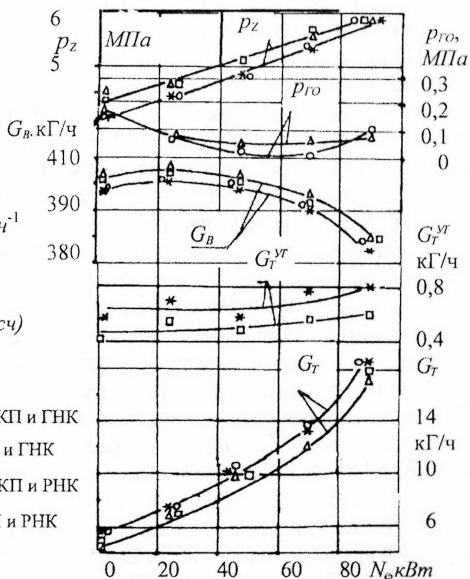


Рис. 17. Регуляторные характеристики дизеля А-41 с ТС с ФП и ФГКП со схемой перепуска 1-3-4-2-1 при комплектации их разными НК ($p_{\text{ФОН}}=12,5 \text{ МПа}$)



(рис. 18-21). СЭИ [50] были проведены при $\delta_r = 15$ мкм с тремя комплектами МР с длинами разобшающего элемента в распылителе $l_{rj} = 0,5; 1,5; 3$ мм: лыски были выполнены в ОАО «Казахстантрактор» (рис. 19). СХ протекают более благоприятно по мере снижения n_H до 600 мин^{-1} при всех l_{rj} ($p_{\text{фог}} = 6; 10; 14$ МПа), а при $l_{rj} = 0,5$ мм имеет место сильная коррекция СХ, причём p_{r0} колеблется от 3 до 13-14 МПа, что приводит к саморегулированию $p_{\text{фог}} - p_{\text{фогл}} + p_{\text{фог}}$. Моторные СЭИ проводились при $l_{rj} = 0,5$ мм ($p_{\text{фогл}} = 10$ МПа). Каждая из РХ (рис. 20) снимались после подрегулировки соответствующей ТС перед установкой на дизель, причём ТС с ФГК работает с меньшей степенью неравномерности; p_{r0} изменяется от 5 до 7,5, а $p_{\text{фог}}$ от 8 до 12 МПа. С учётом $p_{\text{фогл}} = 10$ МПа $p_{\text{фог}}$ изменяется от 18 до 22 МПа и достигаются цели [50]: меньше G_T и t_c . СДТ из новых ФП был незначителен из-за $\delta_{\text{ср}}$. По РХ p_{r0} возрастает от 4,5 до 7,5 МПа ($p_{\text{фог}}$ от 7 до 12 МПа), а по НХ — от 4 до 7,5 МПа. При этом несколько меньше p_z с ФГК из-за запаздывания ПВ (показали индикаторные диаграммы) в результате роста $p_{\text{фог}}$, связанного с ростом p_{r0} , но ПВ заканчивается раньше из-за роста p_r , т. е. рост p_r , соизмеримое с $p_{\text{фог}}$, сокращает $\varphi_{\text{впр}}$, интенсифицируя ПВ и снижая G_T . Преимущество сильнее проявляется по мере снижения N_e , в особенности на ХХ, МНЧ. Дизель с ФП работал неустойчиво и с сильной вибрацией при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, не удалось на ХХ выйти на $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ из-за неустойчивой работы и сильной вибрации его; с ФГК он работал устойчиво без вибраций на ХХ и при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 21).

Разработаны технические решения по совершенствованию проточных частей ФРТ. Для уменьшения потерь кольцевой канал (КК) в районе штифтов соединён канавками в штифте [а. с. 1160090 СССР, пат. 983 KZ], а в одном из 8 вариантов один из штифтов выполнен полым, связывающим $V_{\text{ф}}$ с НТ. Топливо сжимается в одной камере с малым $V_{\text{ф}}$ [а. с. 1825888 СССР, пат. 3530 KZ] при малых y (ХХ, МНЧ) и в двух камерах по мере роста $V_{\text{ц}}$ и y . Для повышения p КК в направлении от $V_{\text{ф}}$ к запорному конусу распылителя (ЗКР) выполнен ступенчато или непрерывно сужающимся [а. с. 1825892 СССР, пат. 2540 KZ]. Выполнение сопловых отверстий на ЗКР даже при сохранении V_K позволило [Вейблат М.Х. Двигателестроение. 1986. № 3. С. 20-24] уменьшить g . Установлено [А.К. Guido, 1966; В.И. Трусков, В.П. Дмитренко, Г.Д. Масляный, 1974], что при выходе СОР в колодец объём полностью несгоревшего топлива за цикл $V_{\text{КНС}} = V_K/3$. За 1300 ч эксплуатации дизелей А-41 и А-01М полностью не сгорает более 130 и 190 кг топлива соответственно из-за объема колодца $V_K = 1,72 \text{ м}^3$, не говоря о том, что они значительное время прогреваются после пуска. У МР судовых и тепловозных дизелей (особенно с ОСН) V_K значительно больше, а дизели легковых автомобилей — высокооборотные. Оба эти фактора приводят к росту $V_{\text{КНС}}$. В этой связи становится ясным стремление ведущих фирм мира уменьшить V_K вплоть до 0, что достигается при выходе СОР на ЗКР. СЭИ на А-41, Д-440 МР с СОР на ЗКР при $V_K = 1,72 \text{ м}^3$ показали целесообразность увеличения d_c . При этом поверхности вокруг СОР после испытаний становились более чистыми и даже зеркально блестящими (рис. 22), отличными от остальной поверхности, в результате самовыгорания топлива вокруг СОР, так как СОР не подпитываются топливом из V_K после посадки иглы на седло, несмотря на то, что длина СОР была в 3-4 раза больше, чем в серийных МР. Защищены [54, 55, 59, 61, 64, 80-83, 87] оптимальные соотношения размеров каналов с СОР на ЗКР при сохранении V_K , причём можно существенно уменьшить нагруженность привода ТН, так как необходимые $p_{\text{впр}}$ могут быть достигнуты при меньших p_H . Ф [а. с. 1793089 СССР, пат. 984 KZ] с СОР на ЗКР содержит иглу с осевым и радиальными каналами и обратный клапан (внутри иглы), перекрывающий осевой канал, со-

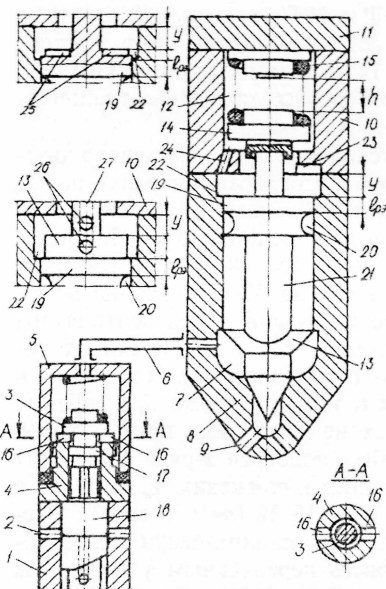


Рис. 18. ТС с ФГК и ПНК по а.с. 1201543 СССР и пат. 980 KZ

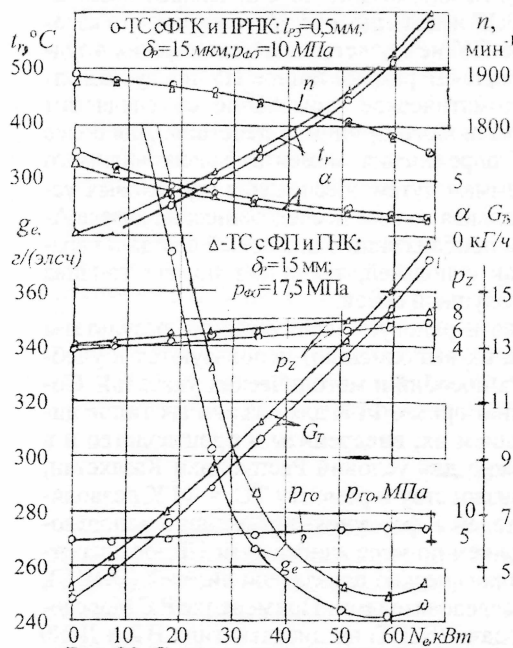


Рис. 20. Сравнительные регулярные характеристики дизеля А-41, оборудованного ТС с ФП и ФГК

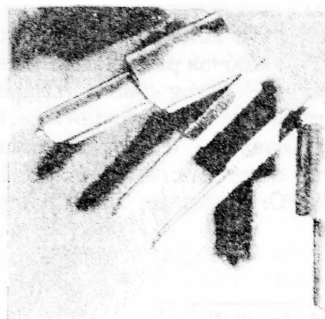


Рис. 19. Распылители с малыми длинами разбашающего элемента $l_{рз}$ по направляющему диаметру $d_{гс}=6 мм$, выполненные на основе серийных распылителей (на иглах выполнены лыски для уменьшения $l_{рз}$)

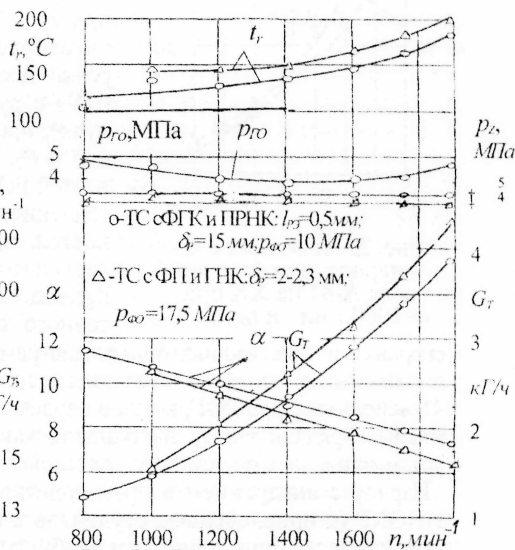


Рис. 21. Сравнительные характеристики холостого хода дизеля А-41, оборудованного ТС с ФП и ФГК

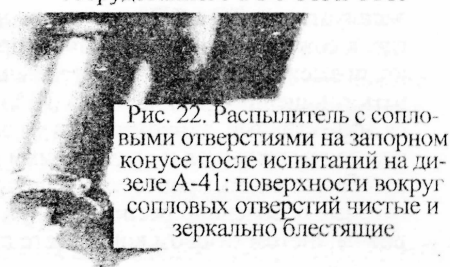


Рис. 22. Распылитель с сопловыми отверстиями на запорном конусе после испытаний на дизеле А-41: поверхности вокруг сопловых отверстий чистые и зеркально блестящие

обобщенный с V_K и перепускающий часть топлива из V_K в конце ГВ в ЛВД и далее в НП через штангу в виде ЗО. Разработанные МР и ФРТ можно использовать на всех типах ТС, включая разработанные в МГТУ под руководством проф. Крутова В.И., И.В. Леонова, В.А. Маркова и В.И. Шатрова ТС с пневмомеханическим АР, воздействующим на дозирующий и фазирующий органы управления топливного насоса, изменяя $\Theta_{ВПР}$ в соответствии с требуемыми законами.

Степень РОГ может достигать 40-50 %. Кроме ускорения пуска холодного дизеля на 20-30 %, РОГ сокращает время послепускового прогрева и снижает G_T на XX, МНЧ (рис. 23), хотя А-41 обладает хорошими пусковыми качествами: успешный пуск без разогрева возможен до $t_{\text{с}} = -35 \dots -40^\circ \text{C}$. РОГ сокращает время прогрева воды на 30-35, масла на 3-5 %: прогрев дизеля с нагрузкой и без вентилятора ускоряется. Благоприятное влияние РОГ на рабочий процесс А-41 усиливается при его работе в условиях низких t_0 и $t_{\text{охл}}$, а также при работе с частичным зависанием игл: даже при 50 %-ной нагрузке ($p_e = 0,3$ МПа) подогрев заряда с 22 до 67°C путем РОГ привел к снижению g_e на 13 %, а при $p_e = 0,175$ МПа на 18 % ($n = 1600$ мин⁻¹). Эксплуатируемые дизели экономически целесообразно дооборудовать перепускным устройством (ПУ) с ручным управлением, включая РОГ при пуске, прогреве и работе на XX, МНЧ, снижая износ и G_T . Использование потенциальных возможностей РОГ имеет еще и то достоинство, что изготовление ПУ не представляет технических трудностей, причём разработанное ПУ предусматривает автоматическое управление со следящим приводом любого принципа действия. Для более точного определения момента начала видимого

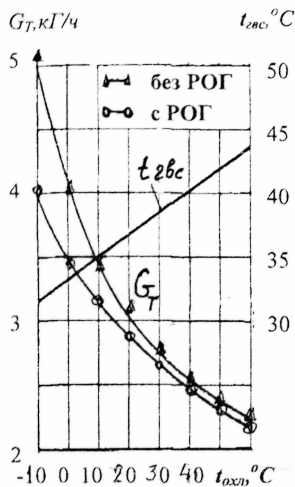


Рис. 23. Изменение G_T в период прогрева дизеля А-41 на XX при $n=1000$ мин⁻¹ и $t_0=21^\circ \text{C}$

сгорания и τ по индикаторным диаграммам путём обеспечения одинаковых условий сжатия с подачей и без подачи топлива во всех исследованиях на дизеле А-41 использовалась РОГ, когда в первом приближении одинаковый состав и параметры заряда к концу наполнения как с подачей, так и без подачи топлива устанавливались по температуре газозвдушной смеси.

Наряду с внедрением в производство и рядовую эксплуатацию, результаты НИОКР (с привлечением студентов к их выполнению) используются в учебном процессе, при написании учебных пособий и методических указаний. Соискатель работает над созданием миниатюрных ФГК для различных типов дизелей и дальнейшим совершенствованием их, внедрением в производство и в эксплуатацию ТС с ФГК, что очень важно для условий Республики Казахстан, где, к сожалению, нет заводов по производству и ремонту ТС, а ФГК позволяют повысить сроки службы распылителей и форсунок, эффективно использовать изношенные распылители (ИР), причём по мере износа даже ИР повышаются эффективные, экономические и экологические показатели дизелей (ЭЭПД), что подтверждается и следующими исследователями. Применение В.С. Морозовой бессливного процесса топливоподачи (БСПП) на дизелях типа В-2 и Д-240 впервые обеспечило бесперебойную эксплуатацию буровых установок и тракторов на чистом газовом конденсате при t минус 55°C в условиях Крайнего Севера

и она, отмечая, что это является практическим воплощением и развитием концепции государственной комплексной топливно-энергетической программы России на период до 2010 г, констатирует улучшение не только ЭЭПД, но и мощностных и надёжных показателей дизелей: снижение g_e дизтоплива на 5-25 г/(кВт.ч), маловязкого топлива на 5,5-19 г/(кВт.ч), ДТОГ до 50 % при незначительном увеличении жёсткости РПД, повышение N_i, N_e и работоспособности распылителей, что БСТП не требует новых сложных техпроцессов для производства и принята к внедрению в серию на ЧТЗ для дизелей 12 ЧН 15/18 и 6 ЧН 15/16, а также может быть изготовлена для переоборудования штатных ТС дизелей с объёмным и объёмно-плёночным смесеобразованием различных размерностей и назначений. К сожалению, форсунка усложнена подпружиненным шариковым клапаном (ШК). Исследованиями на дизелях автотракторного назначения установлено (Л.В.Грехов, А.Г.Коротнев, МГТУ им. Н.Э.Баумана), что применение ТС с закрытым наддольным объёмом (ЗНО) уменьшает $V_{ц}$ на полных нагрузках до 16 %, незначительно улучшает экономические и экологические показатели дизелей на частичных нагрузках и на ХХ, что с усложнённой ТС с предельным клапаном (ПК) повышается $r_{впр}$ в 2 раза, сокращается $\phi_{впр}$, устраняется подвыпрыскивание, улучшается межцикловая стабильность давления топлива, величины $r_{нач}$, $r_{впр}$ зависят от характеристик элементов ЛВД за нагнетательным клапаном ТНВД и давления срабатывания ПК, что ТС с ПК улучшила ЭЭПД 2 ЧН 10,5/12 (Д-120 АО ВТЗ) в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, например, при неизменном $\Theta_{впр}$ и p_r на M_{max} снижаются g_e на 10,9 г/(кВт.ч) или на 4,3 %, дымность в 2 раза, выбросы СО на 950 ppm или 28 %; на $N_{ном}$ снижаются g_e на 6,2 г/(кВт.ч), дымность в 1,6 раза, выбросы СО на 114 ppm (7,9 %). Выбросы NO_x на этих режимах возросли соответственно на 6,3 и 1,1 %. Уменьшая $\Theta_{впр}$ на 5° и регулируя давление ПК, снизили выбросы вредных веществ по оксидам углерода на 20 % и азота на 15%. По данным Л.В.Грехова показатели дизеля 2 ЧН 10,5/12 с $p_r=30$ МПа на M_{max} при $n=1400$ и 2000 мин⁻¹ улучшились соответственно: по экономичности на 15 и 7 г/(кВт.ч), выбросам СО в 1,86 и 1,62 раза, NO_x в 1,32 и 1,67 раза, дымности ОГ в 1,86 и 3 раза.

В настоящее время по результатам исследований соискателя планируется широкое внедрение ТС с ФГК и РНК, отличающиеся простотой конструкции (без шариковых и перепускных клапанов), на эксплуатируемых ДВС автотракторного и других назначений во всех областях Республики Казахстан, открытие в ПГУ им. С. Торайгырова «Проблемной лаборатории по дизельным ТС», а также цеха или завода по ремонту и производству дизельных ТС, а ОАО «Казахстантрактор» заинтересовано в строительстве и дизельного завода, которые крайне необходимы Республике Казахстан. Вышеизложенное подтверждается документами, приложенными к диссертации.

Заключение

Выполненные НИОКР представляют собой теоретическое обобщение и решение крупной научной проблемы по разработке и совершенствованию дизельных ТС с гидравлическим (ФГ) и гидромеханическим запирающим форсунок с глухим клапаном (ФГК), повышающих научно-технический уровень при создании новых и доводке существующих ТС и дизелей и поэтому имеющих важное народнохозяйственное значение (ВНЗ). На всесоюзных и международных НПК отмечалась практическая целенаправленность проводимых соискателем НИР, а НИОКР по

ТС с ФГК характеризовались как новое перспективное направление по упрощению ТС и совершенствованию процессов впрыскивания (ПВ). Госкомизобретений рекомендовал к патентованию за рубежом, дважды к внедрению изобретения соискателя как имеющих ВНЗ. На основе выполненной работы сформулирована и обоснована совокупность научных положений, методов и технических решений по разработке и совершенствованию дизельных ТС с форсунками разных типов (ФРТ), включающая следующие основные выводы:

1. Развити теоретические основы разработки и совершенствования дизельных ТС с учётом особенностей и взаимосвязей гидродинамических процессов в ТС с ФРТ, волновых явлений от штуцера насоса до сопловых отверстий распылителя (СОР), динамических явлений в надыгольной полости, утечек и перетечек топлива (ФП, ФГК), запирающей жидкости и топлива (ФГ, ФГМ) в ПВ и периоды между циклами ПВ, а также и конструктивно-технологических, регулировочных и эксплуатационных параметров ТС и дизелей, свойств топлива и запирающей жидкости; уточнены уравнения начальных и граничных условий у насоса с выгнетательными клапанами разных типов (НКРТ) и у ФРТ как во время ПВ, так и в периоды между циклами ПВ; уравнения энергетического баланса (ЭБ) и баланса сил (БС), действующих на иглы ФРТ; методы гидродинамического анализа и расчета ПВ и методы исследования на устойчивость работы форсунок, позволившие повысить обоснованность анализа и точность расчётов ПВ, хорошо согласующиеся с экспериментом; выявить особенности и взаимосвязи гидродинамических процессов в ТС с ФРТ, установить причины неудовлетворительной работы ТС, в особенности при работе их на ХХ, МНЧ; проанализировать пути совершенствования ПВ, разработать мероприятия по улучшению показателей ТС, включая новые методы регулирования и саморегулирования параметров ТС для стабилизации и интенсификации ПВ и методы решения возникающих при этом задач. Реализованные на ЭВМ методы повышают точность расчёта ПВ, особенно при малых p , характерных для ХХ, МНЧ, учётом волновых явлений до СОР и влияния у на коэффициенты отражения стыков, динамических явлений в НП, $V_y, \Delta p$ и T , причём влияние T проявляется прежде всего из-за влияния её на $V_y, \alpha, \eta, \rho, c$, которые определялись и рекомендуется определять по значениям p в каждом Δt .

2. ТС с ФП отличаются большой МПД и наличием системы слива дренажного топлива (ССДГ), что усложняет ТС и дизель, компоновку, демонтаж и монтаж ТС на дизель, повышая материалоемкость и стоимость производства и техобслуживания ТС и дизеля. Для уменьшения слива дренажного топлива (СДГ) ФП укомплектовываются распылителями с малыми δ , растягивающими ПВ. К недостаткам ФП относится постоянное $p_{\text{фоп}}$, не являющееся оптимальным для других режимов, особенно для режимов ХХ, МНЧ. Рабочий процесс ДВС на ХХ, МНЧ ухудшается из-за неудовлетворительного ПВ и переохлаждения заряда, причём работа ТС на ХХ, МНЧ характеризуется снижением $p_{\text{впр}}$, ухудшением качества распыливания топлива и эффективности каждой из вспышек по мере понижения n , наличием неравномерности ПВ по цилиндрам и циклам, что ухудшает экономические и экологические показатели ДВС, повышая $n_{\text{сmin}}$, а ТС с ФП на НБНЧ работают с растянутым и дополнительным ПВ (РДПВ), причём с понижением $p_{\text{фоп}}$ возрастают продолжительность впрыскивания ($\varphi_{\text{впр}}$), посадки иглы ($\varphi_{\text{пос}}$), этапа выжимания топлива ($\varphi_{\text{зв}}$) и возможность РДПВ; с ростом же $p_{\text{фоп}}$ ухудша-

ется УРФ, ТС и ДВС на ХХ, МНЧ, хотя и сокращаются $\Phi_{ВПР}, \Phi_{ПОС}, \Phi_{ЭВ}$ на номинальных и близких к ним нагрузках и частотах (НБНЧ).

3. Целесообразно: а) регулировать $p_{\Phi O}$, понижая с уменьшением цикловой подачи топлива ($V_{Ц}$) и n и повышая его с ростом $V_{Ц}$ и n , причём регулирование $p_{\Phi O}$ даёт возможность корректировать тяговую характеристику дизелей, что очень важно для транспортной установки; б) уменьшать объёмы и диаметры каналов в линии высокого давления (ЛВД), например, кармана ($d_{кар}, V_{\Phi}$) и колодца ($d_{к}, V_{к}$), выполнять СОР на запорном конусе распылителя, плавно или ступенчато сужать каналы от V_{Φ} до ЗКР, использовать ступенчатый ПВ с изменяющимся $\mu_{\Phi C}$ в зависимости от режима, причём росту p_c способствует согласно установленной закономерности сужение каналов или уменьшение $\mu_{\Phi C}$ (ступенчатый ПВ), так как в этом случае $\tau_{ик}$ не снижает, а повышает p потока, на основании которых разработаны технические решения по оптимизации проточных частей ФРТ, в том числе и с СОР на ЗКР, защищённые комплексом а. с. и пат. СССР, РФ и РК; повышать скорость посадки иглы, сокращая $\Phi_{ВПР}, \Phi_{ПОС}, \Phi_{ЭВ}$, чему способствует увеличение δ_r и что достигается в ТС с ФГ, ФГМ, ФГК, которые можно укомплектовывать изношенными распылителями (ИР) или распылителями с повышенными δ_r , причём по мере износа даже ИР экономичность дизеля возрастает, и в которых осуществляется регулирование непосредственно на работающем двигателе (ФГ, ФГМ) и саморегулирование (ФГК) $p_{гO}(p_{\Phi O}), p_r$ и остальных параметров ПВ в зависимости от режима; в) повышения силы воздействия на иглу сверху в каждом цикле ПВ в момент начала движения ее вниз для повышения скорости посадки иглы, чтобы сократить до минимума $\Phi_{ПОС}$, что достигается в ТС с ФГ, ТС с ФГК и РНК, в особенности, с распылителями с малыми длинами разобшающего элемента (l_{P3}); г) применения в дизелях ТС с ФГ, ТС с ФГК и РНК.

4.1. ТС с ФГ обеспечивает одинаковые давления начала впрыскивания топлива ($p_{\Phi O}$) по всем цилиндрам, повышая устойчивость работы форсунок (УРФ), ТС, дизеля, остаточное давление в нагнетательном трубопроводе (p_o), скорость и чёткость подъёмов и посадок игл, сокращая $\Phi_{ВПР}, \Phi_{ПОС}, \Phi_{ЭВ}$, уменьшая G_T и вероятность РДПВ на режиме НБНЧ, а также $n_{ххmin}$ и следовательно, G_T и износ деталей ДВС на ХХ. Рекомендуется использовать ТС с ФГ на всех типах дизелей, причём ТС с ФГ наряду с аккумуляторными ТС являются основой для создания ТС с управляемым ПВ, в том числе и с электронным. При обработке результатов сравнительных экспериментальных исследований (СЭИ) определялись параметры по всем записанным последовательным циклам (ПЦ) и строился разбег каждого параметра для оценки УРФ, ТС и дизеля: считалось, что устойчивость их работы повышается, если разбег (поле изменения) параметров в ПЦ сужается. При выбранном $V_{гO}$ (с уменьшением $V_{гO}$ растут Δp_r и p_r) колебания Δp_r в основном зависят от скорости движения иглы ($C_{и}$), причём влияние Δp_r на ПВ повышается со снижением $p_{гO}$ и $p_{\Phi O}$. Поэтому при анализе и расчёте ПВ, при разработке и создании ТС с ФГ, ФГМ, ФГК необходимо учитывать эти колебания Δp_r . Оптимальное $p_{\Phi O}$ при ФП уменьшает G_T на 8-20 %, а при ФГ-дополнительно на 2-6,5 %, причём из-за роста $\Phi_{ВПР}$ и уменьшения p при каждом из отрывов и посадок игл прерывистый и дробный ПВ (ПДПВ), что имеет место на ХХ, МНЧ по мере роста $p_{\Phi O}$, особенно при ФП, приводит к росту G_T . ТС с ФГ работает без РДПВ при всех $p_{\Phi O}$ и $n_{нном}$ даже с $b_{цmax}$, в то время как с ФП даже с серийным $p_{\Phi O}=32$ МПа на $n_{нном}=500$ мин⁻¹ уже при $b_{ц}=1Г$ работает с растянутым ПВ, в результате чего

$\Phi_{\text{ВПР}}$ почти в 1,8 раза больше, чем при ФГ. Для дизеля Д-49 на ХХ, МНЧ рекомендуется снижать $p_{\text{ФО}}$ до 15-22 МПа. Установление оптимального $p_{\text{ФО}}$ ФГ снизило среднее эксплуатационный G_T дизеля 8 ЧН 2626 на 8 %, а уменьшение $p_{\text{ФО}}$ с 32 до 22 МПа понизило $n_{\text{схmin}}$ с 350 до 200 мин⁻¹. Если в ТС с ФП утечки уменьшают $p_o, p_{\text{Ф}}, p_c$ и тем больше, чем больше δ или ИР, то при ФГ наличие $p_{\text{ТО}}$ и p_T уменьшают перетечки и даже являются своего рода дополнительным источником, повышающим $p_o, p_{\text{Ф}}, p_c$ и УРФГ, учёт которых при расчёте ПВ, проведении специальных экспериментов показал, что рост экономичности дизелей с ФГ-не кажущийся, а следствие улучшения ПВ, что справедливо и при ФГК.

4.2. С учетом изменений p_o и p_T в ряде циклов велись работы по устранению гидроакклинивания иглы (ГЗИ) ФГК, в результате чего были разработаны разные варианты простых работоспособных ТС с ФГК и разгерметизированными нагнетательными клапанами (РНК), т.е. созданы ТС как бы с изменяемой структурой, когда ЛВД, δ , РНК и ЛНД в ПМЦ выполняют роль ССТ. Установлено, что: а) по мере роста δ , вплоть до 15 мкм, показатели ДВС с ФП, особенно его экономичность, улучшаются, но из-за возрастающего СДТ на землю резко падает N_e , причём утечки ($G_{\text{ТТТ}}$) прямо пропорциональны G_T . При $\delta=15$ мкм утечки из четырёх ФП составили 1,5 л за 2 часа работы дизеля А-41; б) работа дизеля с ФГК улучшается и это тем заметнее, чем больше δ , например, при $\delta=15$ мкм G_T уменьшается от 0,21 кг/ч на ХХ до 1,0 кг/ч на N_e , от устранения СДТ и совершенствования ПВ. В диапазоне эксплуатационных режимов G_T уменьшается на 4-10 % и дизель А-41 работает более "мягко" в результате снижения p_z и $dp/d\alpha$. С ростом δ понижается $p_{\text{ТО}}$. В рабочем диапазоне режимов $p_{\text{ТО}}$ изменяется от 0,2 до 1-1,3 МПа, достигая максимума на N_e , приводящее к изменению $p_{\text{ФО}}$ и $\Phi_{\text{ВПР}}$, т.е. при ФГК достигается некоторое саморегулирование $p_{\text{ФО}}$ и $\Phi_{\text{ВПР}}$ в зависимости от режима. При создании новых дизелей рекомендуется внедрять плоские РНК без уплотнительных конусов (УК), повышая производительность труда, снижая себестоимость ПРНК и трудоёмкость контрольных операций, ликвидируя брак и незавершённое производство. Из-за отсутствия УК с $R_c=0,25$ мкм рабочие плоские поверхности с $R_c=1,25$ мкм с большей площадью контакта испытывают меньшие ударные нагрузки. Рекомендуется использовать РНК и на эксплуатируемых дизелях, переоборудование которых из деталей штатной ТС не представляет технических трудностей. СЭИ на дизеле А-41 с $\delta=6-9$ мкм также показали целесообразность регулирования $p_{\text{ФО}}$ и $\Phi_{\text{ВПР}}$ в зависимости от режима, так как при отклонении их от оптимальных значений резко снижаются N_e, M_e , растёт G_T . На N_e , повышая $p_{\text{ФО}}$, можно уменьшить G_T на 5-7 %, дополнительно на такую же величину снижается G_T при оптимальном $\Phi_{\text{ВПР}}$, а на ХХ, МНЧ при оптимальных $p_{\text{ФО}}$ и $\Phi_{\text{ВПР}}$ снижается на 10-18 % G_T , а $n_{\text{схmin}}$ на 20-30 мин⁻¹. С ФГК при исследованных $p_{\text{ФО}}$ и $\Phi_{\text{ВПР}}$ при работе по регуляторной характеристике меньше G_T на 0,1-0,85 кг/ч, а на ХХ ФГК обеспечивает выигрыш в G_T на 10-15 % из-за роста $p_{\text{ВПР}}$ и сокращения ЭВ, чему способствует и рост δ . При этом дымность ОГ снижается на 40 %. Разработано простое устройство для отключения части цилиндров при работе ДВС на ХХ, МНЧ: на отключаемые цилиндры установлены ФГК, а соответствующие секции насоса укомплектованы герметичными НК, в результате чего на указанных режимах наступает гидроакклинивание иглы, отключая подачу топлива.

5. Разработанные распылители, в том и с сопловыми отверстиями на запорном конусе распылителя, целесообразно использовать на всех типах ТС, в том

числе и в ТС с перепуском топлива из надыгольной полости каждой форсунки в ЛВД любой другой согласно порядку работы цилиндров; с саморегулированием давлений начала и конца ПВ в зависимости от режима работы, на основе которых можно создать и миниатюрные ФГК с $d_H=3$ мм (работа в этом направлении соискателем ведётся).

6. Рециркуляция ОГ положительно влияет на рабочий процесс ДВС на частичных нагрузках, в особенности при работе на ХХ, МНЧ, причём благоприятное влияние РОГ на работу ДВС усиливается при низких t_0 и частичном запуске игл форсунок, указывая на целесообразность ее практического осуществления в условиях эксплуатации. Для более точного определения момента начала видимого сгорания и τ по индикаторным диаграммам путём обеспечения одинаковых условий сжатия как с подачей, так и без подачи топлива во всех исследованиях на дизеле А-41 использовалась РОГ, с помощью которой одинаковый состав и параметры заряда к концу наполнения как с подачей, так и без подачи топлива устанавливались по температуре газозооной смеси.

7. Результаты НИОКР по ТС с ФГ внедрены на КТЗ, по ТС с ФГК-на АМЗ, защищены 54 а. с. и патентами СССР, РФ и РК и положительными решениями Госкомизобретений, причём Госкомизобретений рекомендовал к патентованию за рубежом и дважды к внедрению изобретения соискателя как имеющих важное народнохозяйственное значение; они внедрены на дизели, находящиеся в эксплуатации, используются в НИОКР, учебном процессе МВТУ-МГТУ, ПИИ-КазГТУ-ПГУ, КФ ВЗПИ и др. ВУЗов. Материалы переданы КТЗ, АМЗ, ЦНИТА (по запросу), КамАЗ, НАТИ, НИКТИД, эксплуатирующие организации. ТС с ФГК удостоена Диплома I степени на ВДНХ РК. По результатам исследований соискателя создан возглавляемый им «Научно-практический центр двигателей» при ПГУ им. С. Торайгырова, планируется открытие при ПГУ им. С. Торайгырова «Проблемной лаборатории по дизельным ТС», а также цеха или завода по ремонту и производству дизельных ТС, а ОАО «Казахстантрактор» заинтересовано в строительстве и дизельного завода (материалы приложены к диссертации), что очень важно для условий Республики Казахстан, где нет заводов по производству дизельных ТС.

Список литературы

1. Каракаев А.К. Топливные системы с бездренажными форсунками и повышение технико-экономических показателей дизелей.-Павлодар: РИО ПГУ им. С. Торайгырова, 2001.-175 с.
2. Каракаев А.К. Пути совершенствования процессов впрыскивания топлива в дизелях путём гидравлического и гидромеханического запираания форсунок//Ученые записки ПГУ.-1997.-№ 1.-С.109-118.
3. Сравнительные стендовые исследования процесса впрыска форсунками с гидравлическим и пружинным запираанием игл/С.Г.Роганов,А.К.Каракаев,Ф.И.Пинский и А.В.Башкин//Технические науки (Алма-Ата).-1970.-Х.-С.13-17.
4. Роганов С.Г.,Каракаев А.К.,Миртов Ю.В. Осциллографирование движения иглы форсунки индуктивным датчиком//ДВС.-1972.-№ 7.-С. 18-20.
5. Оптимизация параметров впрыска в дизелях автоматическим регулированием давления начала открытия иглы форсунки/С.Г.Роганов,А.Н.Крылов, Ф.И.Пинский и др.//ИВУЗ.Машиностроение.-1973.-№ 4.-С. 94-98.

6. Исследование гидромеханических форсунок дизелей с глухим колпаком/А.К. Каракаев, Ю.П.Макушев, А.А.Дамер и В.П.Василевский//Пути повышения мощности, надёжности и долговечности ДВС: Тез. докл. ВНТК.-М.-1973.-С. 32.

7. Роганов С.Г., Каракаев А.К. Гидродинамический расчет процесса впрыска топливных систем дизелей//ИВУЗ. Машиностроение.-1974.-№10.-С.89-94.

8. Роганов С.Г., Каракаев А.К. О влиянии положения иглы форсунки на процесс впрыска в топливных системах дизелей//ИВУЗ. Машиностроение.-1974.-№ 11.-С.91-95.

9. Датчик для регистрации подъема иглы форсунки/А.К.Каракаев, А.А.Дамер, Ю.П.Макушев и Л.П.Музыка//ДВС.-1974.-№ 19.-С. 4-7.

10. Роганов С.Г., Каракаев А.К. Определение параметров потока при движении топлива//ИВУЗ. Машиностроение.-1975.-№ 1.-С. 100-104.

11. Роганов С.Г., Каракаев А.К. Исследование устойчивости работы дизельных форсунок с пружинным и гидравлическим запирающим игл//ИВУЗ. Машиностроение.-1975.-№ 2.-С. 113-116.

12. Роганов С.Г., Каракаев А.К. Исследование форсунок на режимах малых нагрузок и оборотов//ДВС.-1975.-№ 8.-С. 36-39.

13. Роганов С.Г., Миртов Ю.В., Каракаев А.К. Экспериментальное исследование топливных систем с пружинным и гидравлическим запирающим игл форсунок//ДВС.-1975.-№ 16.-С. 3-7.

14. Каракаев А.К. Повышение экономичности и надёжности работы дизелей тракторов ДТ-75М «Казахстан»//Пути ускорения технического прогресса: Тез. докл. РНТК.-Алма-Ата.-1976.-С. 77-78.

15. Каракаев А.К. Анализ процесса впрыска дизельной форсункой с учетом волновых явлений в проточной части распылителя//ИВУЗ. Машиностроение.-1978.-№ 6.-С. 71-75.

16. Каракаев А.К. Влияние объема колодца распылителя, размеров предсопловых каналов и сопловых отверстий на процесс впрыска//ИВУЗ. Машиностроение.-1978.-№7.-С. 71-75.

17. Каракаев А.К., Кривенко Б.М., Ройфберг З.М. Повышение эксплуатационной топливной экономичности дизелей А-41 и А-01М форсунками без слива топлива и перспективы использования их в дизелях с высоким наддувом//Проблемы создания и использования двигателей с высоким наддувом: Тез. докл. ВНТК.-Харьков.-1979.-С.170-172.

18. Роганов С.Г., Каракаев А.К. Распределение потока топлива в форсунках//ИВУЗ. Машиностроение.-1979.-№ 9.-С. 85-89.

19. Роганов С.Г., Каракаев А.К. Анализ работы форсунок с пружинным и гидравлическим запирающим игл//ИВУЗ. Машиностроение.-1979.-№10.-С.83-88.

20. Каракаев А.К. Гидродинамический анализ и синтез оптимальности конструктивно-технологических и регулировочных параметров топливной аппаратуры дизелей//Тез. докл. ВНТК.-Владимир: НИКТИД.-1980.-С. 73-75.

21. Кривенко Б.М., Каракаев А.К. Исследование влияния рециркуляции ОГ на пусковые качества холодного дизеля//Перспективы развития комбинированных ДВС и двигателей новых схем и топлив: Тез. докл. ВНТК, посвященной 150-летию МВТУ им. Н.Э. Баумана.-М.-1980.-С.71-72.

22. Каракаев А.К. Уточнение граничных условий у форсунок при расчёте процесса впрыска топлива/Рабочие процессы в ДВС: Тез. докл. ВНТК.-М.-1982.-С. 131-132.

23. Каракаев А.К. Исследование топливных систем с нагнетательными клапанами двойного действия и форсунками без слива топлива//Повышение эффективности использования автомобильного транспорта и автомобильных дорог в условиях жаркого климата и высокогорных районов:Тез. докл. ВНТК.-Ташкент.-1982.-Ч. II.-С. 45-46.

24. Каракаев А.К. Совершенствование и повышение эффективности рабочих процессов дизельной топливной аппаратуры с гидравлическим и гидромеханическим управлением форсунок // Проблемы совершенствования рабочих процессов в ДВС: Тез. докл. ВНТК.-М.-1986.-С.162-163.

25. Каракаев А.К. Совершенствование процессов впрыскивания на основе физико-математического моделирования // Актуальные проблемы машиностроения: Труды РНТК по проблемам машиностроения Казахстана на этапе перестройки.-Алма-Ата: Наука, 1989.-С. 236-239.

26. Каракаев А.К. Гидродинамика впрыскивания топлива:Доклад//Проблемы комплексного использования регионов Казахстана: Материалы МНТК.-Ч. 1.: Пленарные доклады.-Алматы.-1996.-С. 103-108.

27. Каракаев А.К.,Каракаев А.А. Устойчивость работы форсунок: Доклад//Проблемы комплексного использования регионов Казахстана: Материалы МНТК.-Ч. 3.-Алматы.-1996.-С. 75-80.

28. Каракаев А.К.,Каракаева А.А. Уточнение члена, учитывающего касательное напряжение трения при НДСС по каналам с переменными по x, t сечениями: Доклад//Проблемы комплексного использования регионов Казахстана: Материалы МНТК.-Ч. 3.-Алматы.-1996.-С.81-86.

29. Каракаев А.К.,Каракаева А.А.Научно-практическое значение и технико-экономическая эффективность НИОКР по разработке, созданию, внедрению и организации РЭИ новых топливных систем на дизелях, в том числе и на 48 тракторах и бульдозерах: Доклад//Проблемы комплексного использования регионов Казахстана: Материалы МНТК.-Ч. 3.-Алматы.-1996.-С.87-92.

30. Каракаев А.К.,Кауров Е.В. Разработка на компьютере инженерных методов расчёта и анализа статических и динамических свойств САР, состоящий из ДВС и АР: Доклад//Проблемы комплексного использования регионов Казахстана: Материалы МНТК.-Ч. 3.-Алматы.-1996.-С.93-98.

31. Каракаев А.К. Разработка перспективных дизельных топливных систем с гидравлическим запиранием форсунок и с форсунками с глухим колпаком//Инженерная наука на рубеже XXI века: Материалы МНТК,посвящённой 10-летию ИА РК.-Алматы.-2001.-С. 255.

32. А. с. 355378 СССР, МКИ FO2M 47/02,45/08. Форсунка для впрыска топлива/С.Г.Роганов и А.К.Каракаев;МВТУ//Б.И.-1972.-№ 31.

33. А. с. 1160090 СССР, МКИ FO2M 61/10.Форсунка/А.К.Каракаев/Б.И.-1985.-№ 21.

34. А. с. 1321894 СССР, МКИ FO2M 53/00. Топливовпрыскивающая система/А.К.Каракаев/Б.И.-1987.-№ 25.

35. А. с. 1370291 СССР, МКИ FO2M 59/44. Топливная система для дизеля/А.К.Каракаев;ПНИИ/Б.И.-1988.-№ 4/Б.И.-1990.-№ 11 (Изменена формула).

36. Пат. 1806289 СССР, МКИ FO2M 59/44. Топливная система для дизеля/А.К.Каракаев/Б.И.-1993.-№ 12.

37. Пат. 1806290 СССР, МКИ FO2M 59/44. Топливная система для дизеля/А.К.Каракаев/Б.И.-1993.-№ 12.

38. Пат. 1806291 СССР, МКИ FO2M 61/06. Распылитель/А.К.Каракаев; ПИИ // Б.И.-1993.-№ 12.

39. А. с. 1822905 СССР, МКИ FO2M 61/06. Распылитель с сопловыми отверстиями на запорном конусе / А.К. Каракаев; ПИИ // Б.И.-1993.-№ 23.

40. А. с. 1825884 СССР, МКИ FO2D 17/02. Двигатель внутреннего сгорания / А.К. Каракаев; ПИИ // Б.И.-1993.-№ 25.

41. А. с. 1825888 СССР, МКИ FO2M 61/00. Форсунка для двигателя внутреннего сгорания/А.К.Каракаев//Б.И.-1993.-№ 25.

42. А. с. 1825891 СССР, МКИ FO2M 61/10. Распылитель форсунки/А.К.Каракаев//Б.И.-1993.-№ 25.

43. А. с. 1835461 СССР, МКИ FO2M 61/06. Распылитель дизельный форсунки с сопловыми отверстиями на запорном конусе/А.К.Каракаев//Б.И.-1993.-№ 31.

44. Положительное решение Госкомизобретений о выдаче патента по заявке 3559279/63 СССР, МКИ FO2M 53/00 от 23.07.1990 "Топливная аппаратура с гидрозапиранием форсунок"/А.К.Каракаев.

45. Положительное решение Госкомизобретений о выдаче патента по заявке 4706871/06 СССР, МКИ FO2M 61/06 от 27.12.1991 "Распылитель форсунки с сопловыми отверстиями на запорном конусе"/А.К.Каракаев.

46. Пат. 973 KZ, МКИ FO2M 45/08. Іштен жану двигателіне отынды сатылап шашуға арналған форсунка/А.К.Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

47. Пат. 975 KZ, МКИ FO2M 59/04. Отынды дизельге бұрку тәсілі және оны жүзеге асырғыш құрылғы/А.К.Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

48. Пат. 976 KZ, МКИ FO2M 59/44. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

49. Пат. 977 KZ, МКИ FO2M 59/44. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

50. Пат. 978 KZ, МКИ FO2M 59/44. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

51. Пат. 979 РК(KZ), МКИ FO2M 59/44. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

52. Пат. 983 KZ, МКИ FO2M 61/10. Форсунка/А.К.Каракаев//Бюл.-1994.-№ 2.

53. Пат. 2533 KZ, МКИ FO2M 17/02. Іштен жану двигателі /А. К. Каракаев //Бюл.-1995.-№ 3.

54. Пат. 2534 KZ, МКИ FO2M 59/44. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Бюл.-1995.-№ 3.

55. Пат. 2535 KZ, МКИ FO2M 61/06. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Б.И.-1995.-№ 3.

56. Пат. 2536 KZ, МКИ FO2M 61/06. Тиекті конустағы тесікті бүріккіші/А. К.Каракаев//Бюл.-1995.-№ 3.

57. Пат. 2537 KZ, МКИ FO2M 61/06. Форсунканың тиекті конустағы тесікті бүріккіші/А.К.Каракаев//Бюл.-1995.-№ 3.

58. Пат. 2538 KZ, МКИ FO2M 61/06. Дизель форсункасының тиекті конустағы тесікті бүріккіші/А.К.Каракаев//Бюл.-1995.-№ 3.

59. Пат. 2539 KZ, МКИ FO2M 61/06. Бүріккіш/А.К.Каракаев//Бюл.-1995.-№ 4.

60. Пат. 2930 KZ, МКИ FO2M 53/60. Форсункасы гидрожабылғыш отын аппаратурасы/А.К.Каракаев//Бюл.-1995.-№ 4.

61. Пат. 2931 KZ, МКИ FO2M 59/44. Дизельге арналған отын жүйесі/А.К. Каракаев//Бюл.-1995.-№ 4.

62. Пат. 2932 KZ, МКИ FO2M 61/10. Форсунканың бүріккіші/А.К. Каракаев//Бюл.-1995.-№ 4.