

05.04.02

Т35

На правах рукописи

Теребов Антон Сергеевич

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА
ДИЗЕЛЕЙ БЕЗРАЗБОРНЫМ УДАЛЕНИЕМ НАГАРО-СМОЛИСТЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК**

Специальность 05.04.02 — «Тепловые двигатели»

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

Челябинск – 2003

Работа выполнена на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ, г. Челябинск).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор А.Н. Лаврик.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.С. Морозова;
кандидат технических наук А.А. Малоземов.

Ведущее предприятие – Опытный завод путевых машин Южно-Уральской железной дороги (ОЗПМ ЮУЖД), г. Челябинск.

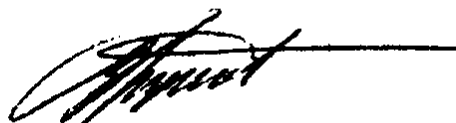
Защита состоится «26» ноября 2003 г. в 17⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.09 Южно-Уральского государственного университета по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

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

Автореферат разослан «24» октября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор



В.М. Бунов

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Повышение удельной мощности, моторесурса, улучшение топливной экономичности и эксплуатационных свойств дизелей являются основными направлениями развития отечественного и зарубежного двигателестроения.

К числу важнейших систем, определяющих технико-экономические показатели дизеля, его надежность и долговечность, относится система подачи топлива. Важнейшим элементом системы подачи топлива является топливная форсунка. Она, а особенно ее распылитель, работает в условиях высокой тепловой и механической нагруженности, что в сочетании с конструктивными и регулировочными факторами, а также физико-химическими свойствами топлив приводит к значительному нагаро-смолообразованию в ее каналах и полостях. Следствием процессов нагаро-смолоотложения является нарушение распределения топлива по цилиндрам и по объему камеры сгорания, что ухудшает мощностные и экономические показатели дизеля.

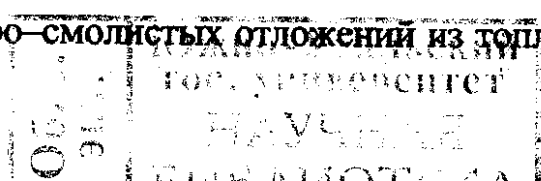
Физическая основа процессов нагаро-смолоотложения в топливных форсунках такова, что полностью исключить их невозможно, что подтверждается многочисленными исследованиями. Можно лишь снизить интенсивность процессов нагаро-смолоотложения.

Известны различные методы удаления нагаро-смолистых отложений. На практике применяется метод разборной очистки, который весьма трудоемок. Наиболее перспективны методы безразборной очистки как менее трудоемкие и не требующие разборки приработанных трибосопряжений. Эти методы до настоящего времени не нашли широкого применения из-за отсутствия эффективных технических средств очистки. Проблема восстановления мощностных и экономических показателей удалением нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок наиболее остро стоит для высокофорсированных дизелей с турбонаддувом, где создаются неблагоприятные условия для работы элементов топливной системы. В связи с этим, восстановление показателей рабочего цикла дизелей удалением нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок, особенно безразборным методом, является актуальным.

Цель работы. Разработка мероприятий по восстановлению мощностных и экономических показателей дизеля посредством удаления нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок.

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

1. Систематизация факторов, влияющих на коксование распылителей топливных форсунок дизелей;
2. Оценка влияния коксования распылителей на показатели процессов топливоподачи и рабочего цикла дизелей;
3. Оценка влияния коксования сопловых отверстий распылителей на его тепловое и деформированное состояние;
4. Разработка методов разборного и безразборного удаления нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок дизелей;
5. Разработка технических средств для безразборной диагностики и раскоксовывания топливных форсунок;
6. Оценка эффективности удаления нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок.



Методы исследования. Теоретическое и экспериментальное исследование влияния коксования распылителей на мощностные и экономические показатели дизелей и системы топливоподачи. Определение граничных условий теплообмена распылителя топливной форсунки для оценки их теплового и деформированного состояния выполнены проведением вычислительных экспериментов на ПЭВМ с математическим моделированием рабочего цикла и температурного состояния в программных комплексах SYNG и TEDA. Оценка эффективности разработанных методов очистки топливных форсунок проведена экспериментальным методом на безмоторных и моторных установках, оснащенных физическими моделями, одноцилиндровым и полноразмерным дизелями, нагружающим устройством, комплексом измерительной, регистрирующей и специальной аппаратуры.

Объект и предмет исследования. Топливные форсунки закрытого типа, устанавливаемые на массовые дизели типа В2 и Д6 с объемным способом смесеобразования, Д-130 и Д-160 с объемно-пленочным смесеобразованием и процессы в них происходящие.

Научную новизну работы составляет:

1. Аналитические зависимости по влиянию интенсивности коксования, имитируемого изменением условного проходного сечения распылителей на кинетические показатели процесса сгорания.
2. Закономерности по удалению нагаро-смолистых отложений при статической и динамической очистке распылителей, учитывающие время очистки, частоту и цикловую подачу технической жидкости через топливную форсунку;
3. Результаты экспериментального исследования по оценке эффективности разработанных методов и технических средств удаления нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок.

Практическая ценность. Получена классификация факторов, влияющих на коксование распылителей топливных форсунок дизелей. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено влияние степени коксования распылителей топливоподающей форсунки на их тепловое состояние и показатели рабочего цикла дизелей. Экспериментально установлено влияние степени коксования распылителей на показатели топливоподачи. Обоснованы свойства применяемой технической жидкости. Разработаны методы статического разборного и динамического безразборного удаления отложений из топливных форсунок. Разработана методика расчета и изготовлена опытно-промышленная установка для безразборной диагностики и очистки топливных форсунок от нагаро-смолистых отложений. Получены результаты экспериментального исследования по влиянию удаления нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок на рабочий цикл дизеля.

Реализация результатов исследований. Разработанные технические средства и технология безразборной очистки топливных форсунок внедрены в производство в цехе дизелей Опытного завода путевых машин Южно-Уральской железной дороги (ОЗПМ ЮУЖД).

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава (г. Челябинск, ЮУрГУ, 2001-2003 г.г.; г. Челябинск, МАДИ, 2001 г., г. Челябинск, ЧИМЭСХ, 2002 г.), Международной научно-технической конференции (г. Челя-

бинск, ЮУрГУ, 2003 г.), на научно-техническом совете ОЗПМ ЮУЖД (г. Челябинск, 2003).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 8 печатных трудах, включая два патента РФ на устройство для безразборной очистки топливных форсунок дизелей от смолисто-коксовых отложений и на очищающий состав.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы 191 стр., в том числе 142 стр. основного текста, включая 29 стр. иллюстраций, список использованных источников (101 наименование) и 39 стр. приложений.

Содержание работы

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

В первой главе проанализированы факторы, влияющие на коксование распылителей топливных форсунок. Рассмотрены процессы взаимодействия топливной и газовой среды с элементами топливных форсунок. Установлено влияние нагаро-смолистых отложений на работу топливных форсунок. Рассмотрены методы и технические средства раскоксовывания топливных форсунок.

Основными факторами, влияющими на нагаро-смолоотложение в топливных форсунках являются температура распылителя, качество топлива и время контакта топлива с поверхностью сопла (рис.1). На коксование распылителей основное влияние оказывают конструктивные и регулировочные параметры топливной аппаратуры, режим работы дизеля, а также физико-химические свойства используемого топлива.

При анализе структуры нагаро-смолоотложений рассматриваются физико-химические процессы взаимодействия топлива и поверхностей топливных каналов форсунки дизеля. Показано, что из условия осаждения нагаро-смолистых отложений в топливных форсунках, исключить процессы нагаро-смолоотложения в современных дизелях не представляется возможным. В многочисленных исследованиях рекомендуется осуществлять периодическую чистку топливных форсунок. Наиболее трудным, с точки зрения удаления, является нагар в сопловых отверстиях распылителя, который удаляется механической чисткой.

Нагаро-смолистые отложения приводят к потере подвижности иглы распылителя, уменьшению проходного сечения сопловых отверстий распылителя, каналов топливной форсунки, щелевого фильтра и в результате к отказу дизеля.

Анализируются известные методы и технические средства очистки топливных форсунок от отложений, оценивается их эффективность и целесообразность применения.

В результате анализа выявляется актуальность проблемы безразборной очистки топливных форсунок от нагаро-смолистых отложений применением технических промывочных жидкостей и формулируются задачи исследования.

Вторая глава диссертации посвящена оценке математическим моделированием показателей рабочего цикла дизеля и теплового состояния распылителя при коксовании его сопловых отверстий. Поскольку достоверно описать математически величину, форму и расположение очагов коксообразования не представляется возможным вследствие особенностей процесса, то применяемая математическая модель с



Рисунок 1.

Классификация факторов, влияющих на коксование топливных форсунок дизелей

равномерным уменьшением диаметра сопловых отверстий распылителя при анализе рабочего цикла является наиболее достоверной.

На основе анализа индикаторных диаграмм предложены эмпирические зависимости продолжительности сгорания φ_z , показателей характера сгорания в начальном m_n и основном m_o периодах, угла опережения воспламенения топлива θ в зависимости от условного проходного сечения μf_p :

$$\varphi_z = \varphi_z'' \cdot (1 + 2,42 \cdot \Delta \mu f_p), \quad (1) \quad m_n = m_n'' \cdot (25 \cdot \Delta \mu f_p - 1), \quad (2)$$

$$m_o = m_o'' \cdot (10,9 \cdot \Delta \mu f_p + 1), \quad (3) \quad \theta = \theta'' \cdot (1 + 1,75 \cdot \Delta \mu f_p), \quad (4)$$

где $\Delta \mu f_p$ — изменение условного проходного сечения сопловых отверстий распылителя;

φ_z'' , m_n'' , m_o'' , θ'' — величины, характерные для рабочего цикла дизеля с сопловыми отверстиями распылителя номинального диаметра.

Проанализированы специфика и особенности известных методик для математического моделирования рабочего цикла, температуры распылителя топливоподающей форсунки дизеля, адаптированные автором для оценки влияния коксования распылителей на показатели рабочего цикла.

Основные положения методики синтеза рабочего цикла дизеля базируются на:

— учете изменения состава рабочего тела в процессе сгорания при определении давления P , удельного объема V и молекулярной массы μ , производимом для единицы массы заряда, включая долю топлива, участвующую в смесеобразовании. При этом давление и температура рабочего тела в процессе сгорания определяются с использованием зависимостей А.Н.Лаврика:

$$P_j = \frac{\beta_j}{\beta_{j-1}} \left[\frac{P_{j-1} q_z \lambda x_{j,sp} (K_{j,sp} - 1) \mu_{j,sp}}{0,008314 T_{j-1}} + P_{j-1} \right] \left[\frac{\psi(\alpha_{j-1})}{\psi(\alpha_j)} \right]^{K_{j,sp}} \quad (5) \quad T_j = \frac{P_j V_j \mu_j}{0,008314 \beta_j} \quad (6)$$

$$V = \frac{V_a}{\varepsilon} \psi(\alpha) \quad (7) \quad \mu = \frac{\mu_y}{\beta} \quad (8)$$

— рассмотрении процесса сгорания топлива как процесса подвода теплоты с учетом изменения состава образующихся и участвующих в нем газов, при этом текущее значение действительного коэффициента молекулярного изменения β в процессе сгорания топлива:

$$\beta = 1 + (\beta_{\max} - 1)x \quad (9)$$

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

$$x = 1 - e^{-6,908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_n} \right)^{m_n - m_o} \left(\frac{\varphi}{\varphi_z} \right)^{m_o + 1}}, \quad \text{при } \varphi > \varphi_n, \quad m_n = m_o, \quad (10)$$

$$\xi = 1 - 2,38 \cdot \frac{\varphi_z}{n \cdot \alpha}, \quad (11)$$

где φ_n – продолжительность начального периода, град. ПКВ;

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

n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹;

α – коэффициент избытка воздуха,

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

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

$$\alpha_s = \alpha_{cp} = \tau_0^{-1} \cdot \int \alpha d\tau \quad (10) \quad T_s = \frac{(\alpha \cdot T)_{cp}}{\alpha_{cp}} \quad (12)$$

– текущие значения температуры T и коэффициента теплоотдачи α газов во внутрицилиндровом пространстве дизеля:

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

$$\alpha_s = C_q \cdot P^{0,8} \cdot T^{-0,53} \cdot D^{-0,2} \cdot W^{0,8} \quad (13)$$

Распределение α от оси цилиндра вдоль радиуса R по поверхностям днища поршня и головки цилиндров

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

б) в радиальном зазоре ζ , между распылителем и головкой цилиндра в отверстии для его выхода, глубиной h

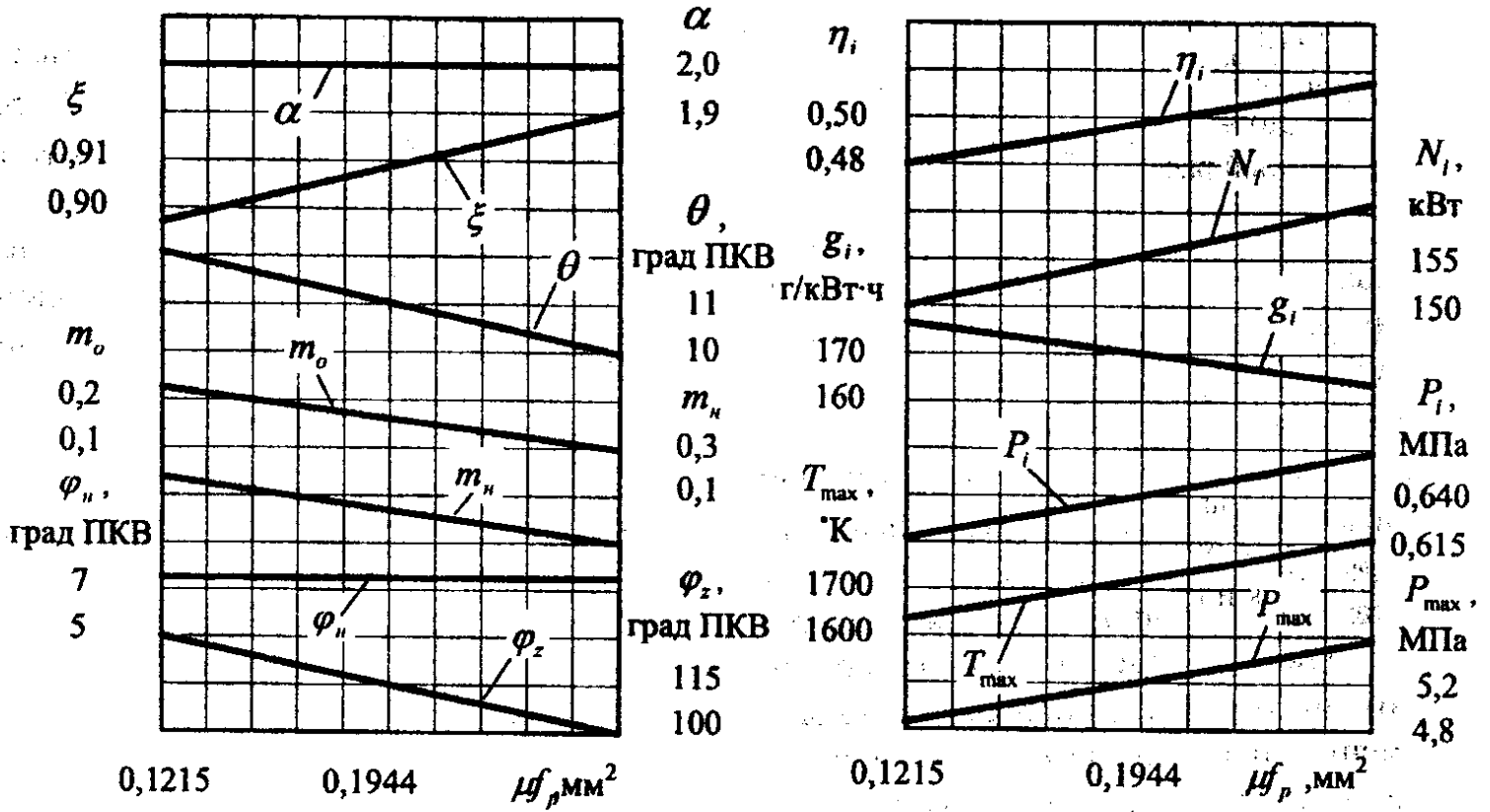
$$\alpha = \alpha_s, \text{ при } h = 0; \quad \alpha = 0,18 \cdot \alpha_s, \text{ при } h = h_{max}. \quad (15)$$

Параметры процесса сгорания топлива, уровень тепловых потерь и граничные условия теплообмена распылителя определены с учетом экспериментальных данных для дизеля У1Д6-С5, результатов анализа его индикаторных диаграмм давления в цилиндре, а также рекомендаций литературных источников.

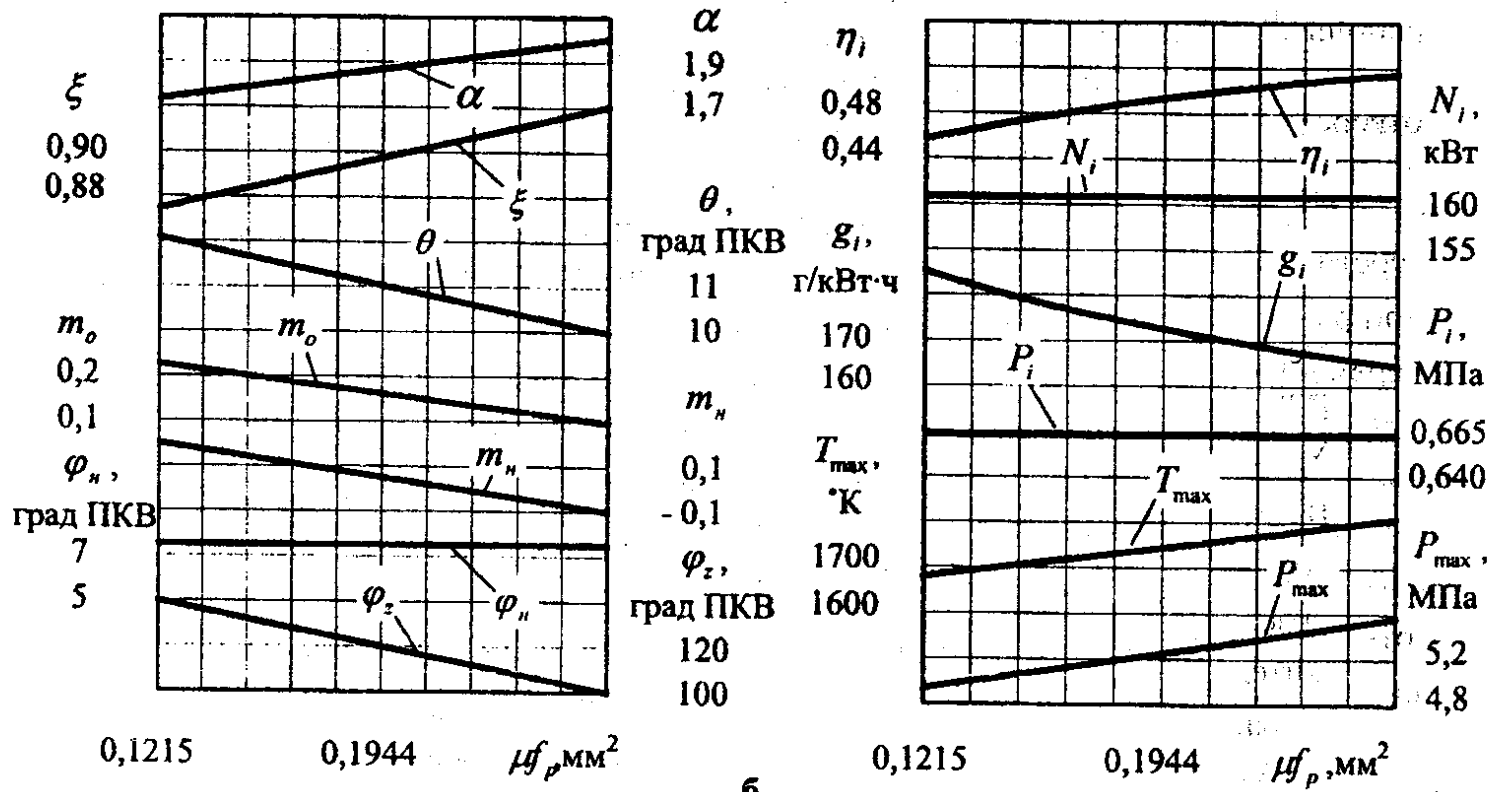
Теоретически установлено влияние уменьшения условного проходного сечения распылителя на показатели рабочего цикла при постоянной цикловой подаче топлива на режиме номинальной мощности дизеля (рис.2).

Уменьшение условного проходного сечения распылителей с 0,2430 до 0,1215 мм² приводит к снижению среднего индикаторного давления P_i с 0,664 до 0,618 МПа (на 6,9%), увеличивается удельный индикаторный расход топлива g_i с 164 до 176 г/кВт·ч (на 7,3%), происходит снижение максимальных давлений P_{max} (с 5,6 до 4,89 МПа) и температур цикла T_{max} (от 1809 до 1638 °К). Ухудшение условий смесеобразования и сгорания вызывает снижение индикаторного КПД цикла в исследуемом диапазоне изменения μ_f на 0,036 (от 0,516 до 0,48).

На практике, часто от дизеля требуется номинальная мощность в течение всей межсервисной эксплуатации. Это достигается регулированием упора рейки ТНВД для увеличения цикловой подачи топлива в цилиндр, что учитывалось при моделировании рабочего цикла изменением коэффициента избытка воздуха α (рис. 2).



а.



б.

Рисунок 2.

Показатели рабочего цикла дизеля при изменении условного проходного сечения распылителей на режиме номинальной мощности:

а – при постоянной цикловой подаче топлива;

б – при поддержании постоянной мощности дизеля.

При снижении α от 2,0 до 1,775, для обеспечения среднего индикаторного давления $P_i = const$ в исследуемом диапазоне изменения μf_p , происходит увеличение продолжительности сгорания φ_z со 100 до 140 град. ПКВ и снижение коэффициента эффективности сгорания ξ до 0,875. Максимальное давление цикла снижается с 5,6 до 4,94 МПа, максимальная температура – с 1810 до 1676 °К, а удельный индикаторный расход топлива возрастает от 164 до 185 г/кВт·ч (на 12,8%).

С использованием программного комплекса TEDA, разработанного под руководством Н.А.Иващенко, проанализировано для постоянных цикловой подачи топлива и режима номинальной индикаторной мощности дизеля температурное состояние распылителя топливоподающей форсунки при изменении условного проходного сечения распылителя.

Уменьшение условного проходного сечения распылителя μf_p в исследуемом диапазоне сопровождается повышением температур распылителя топливоподающей форсунки – в среднем на 10...15°С, ростом деформаций как в осевом (на 0,2 мкм), так и в радиальном (на 0,1 мкм) направлениях.

Третья глава диссертации посвящена описанию объекта исследования, элементов его опытных деталей и технологии их испытаний. Приведена методика экспериментального определения основных показателей рабочего цикла при работе дизеля на различных режимах нагружения. Описаны экспериментальные безмоторные и моторные установки, измерительная, регистрирующая и специальная аппаратура, используемая в эксперименте, а также особенности ее использования.

Четвертая глава посвящена оценке влияния уменьшения диаметра сопловых отверстий на показатели системы топливоподачи и рабочего цикла дизеля. Экспериментально на одноцилиндровом отсеке исследуемого дизеля установлена зависимость изменения показателей рабочего цикла при изменении диаметра сопловых отверстий распылителя d_c (рис. 3). Получены характеристики системы топливоподачи при различных d_c (рис. 4,5) и осциллограммы давления топлива перед форсункой и перемещения иглы распылителя. Установлено, что для дизеля ОД-738 (одноцилиндровый отсек дизеля Д-160) оптимальным является распылитель с $d_c=0,40$ мм. Уменьшение d_c от 0,40 до 0,25 мм сопровождается увеличением среднего эффективного расхода топлива g_e от 235 до 250 г/кВт·ч и снижением среднего эффективного давления цикла P_e от 0,675 до 0,635 МПа. При уменьшении диаметра сопловых отверстий распылителя от оптимальной величины происходит увеличение продолжительности сгорания φ_z и интенсивное снижение коэффициента эффективности сгорания ξ , что будет иметь место и при коксовании распылителей.

Установлено, что по внешней скоростной характеристике угол опережения впрыскивания $\theta_{впр}$ при уменьшении диаметра сопловых отверстий от оптимального не изменяется, а продолжительность впрыскивания $\varphi_{впр}$ растет (увеличение на 2..2,5 град. ПКВ). Это увеличение становится более существенным при повышении частоты вращения коленчатого вала дизеля.

Угол опережения впрыскивания $\theta_{впр}$ при работе дизеля по нагрузочной характеристике при уменьшении диаметра сопловых отверстий от оптимального практически

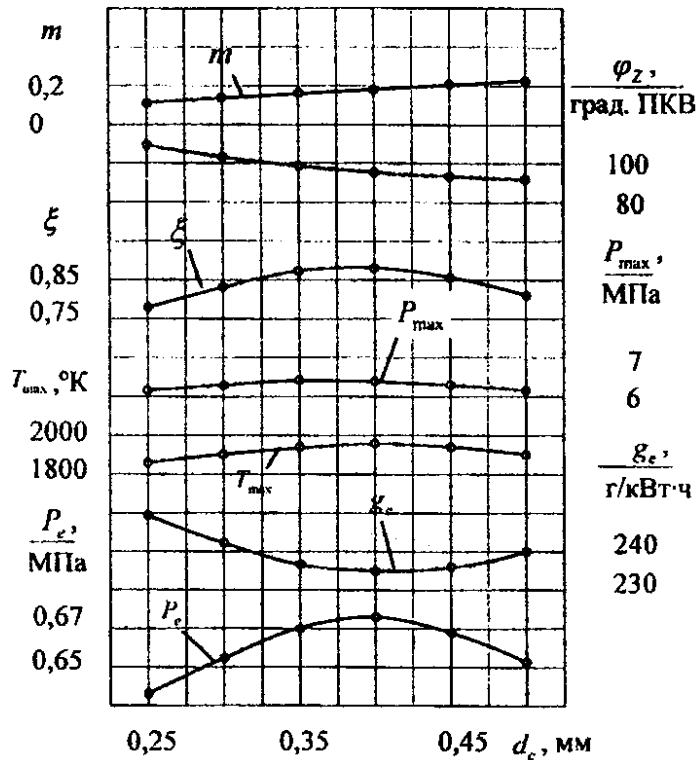


Рисунок 3.

Влияние диаметра сопла распылителя на показатели рабочего цикла дизеля:

$$\varepsilon = 14, n = 1070 \text{ мин}^{-1}, G_T = 4,76 \text{ кг/ч}, d_{nr} = 11 \text{ мм}, P_{н.впр.} = 18 \text{ МПа.}$$

ки не меняется, а продолжительность впрыскивания $\varphi_{впр}$ увеличилась для исследуемых распылителей всем диапазоне частот вращения коленчатого вала на 2..2,5 град. ПКВ. Продолжительность впрыскивания изменяется линейно для двух распылителей.

В пятой главе описывается техническая жидкость, разработанная с учетом состава, физических и химических свойств нагаро- и смолоотложений в топливной форсунке и требований, предъявляемых к ней при безразборной очистке.

Жидкость МЛ-201 состоит из трех основных компонентов: база, система растворителей и разбавителей, моющая система. Принцип действия жидкости МЛ-201 состоит в следующем: поверхностно-активные вещества жидкости насыщают слой карбенов и карбоидов (труднорастворимый нагар), разрушая при этом связи между кристаллами. Затем уже разрозненные кристаллы карбенов и карбоидов, а также смолы и асфальтены выносятся из топливной форсунки моющими поверхностно-активными веществами жидкости. Коррозионные, противоизносные, низкотемпературные свойства и вязкость жидкости МЛ-201 соответствуют нормативным свойствам дизельного топлива (ГОСТ 305-82).

Проведенное исследование эффективности жидкости МЛ-201 по удалению нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок в статических условиях (рис. 6) показало, что полное удаление отложений происходит за 1 час, причем, до 40% отложений удаляется в первые 10 минут замачивания, а оставшиеся отложения становятся мягкими, рыхлыми и легкоудаляемыми. Подача жидкости под давлением позволит смывать "раскисшие" отложения с обрабатываемых поверхностей, значительно сокращая время очистки и повышая ее качество.

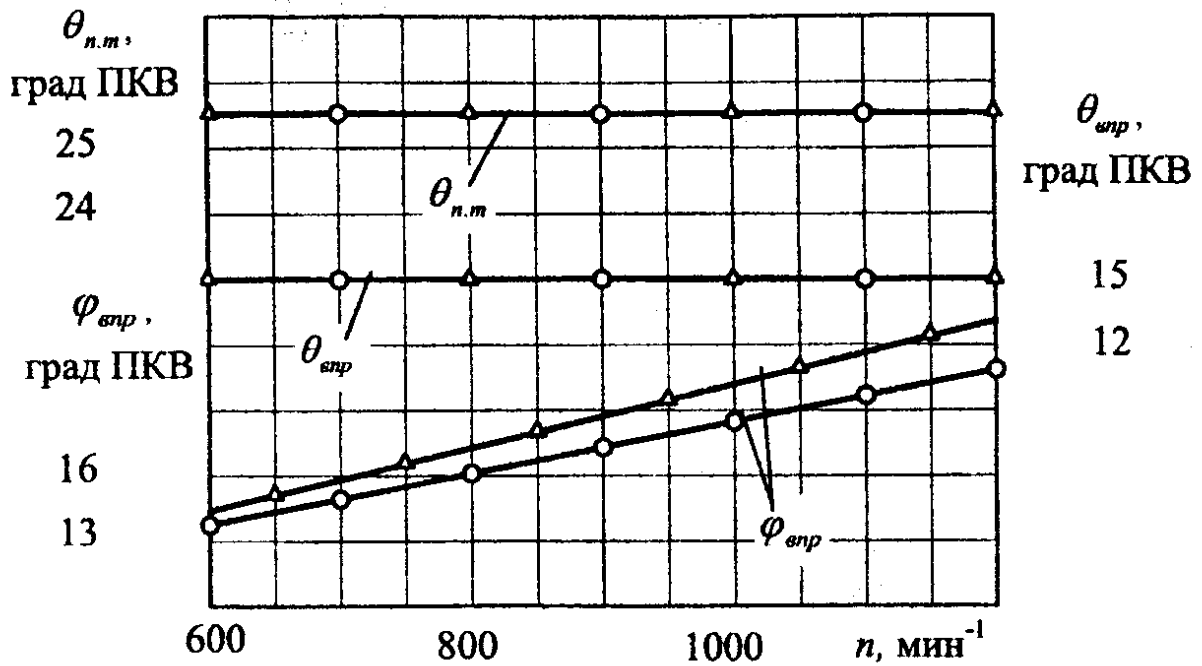


Рисунок 4.

Зависимость продолжительности и угла опережения впрыскивания топлива от частоты вращения коленчатого вала при работе дизеля по внешней скоростной характеристике
 — Δ — распылитель $5 \times 0,30 \times 130^\circ$; — \circ — распылитель $5 \times 0,40 \times 130^\circ$.

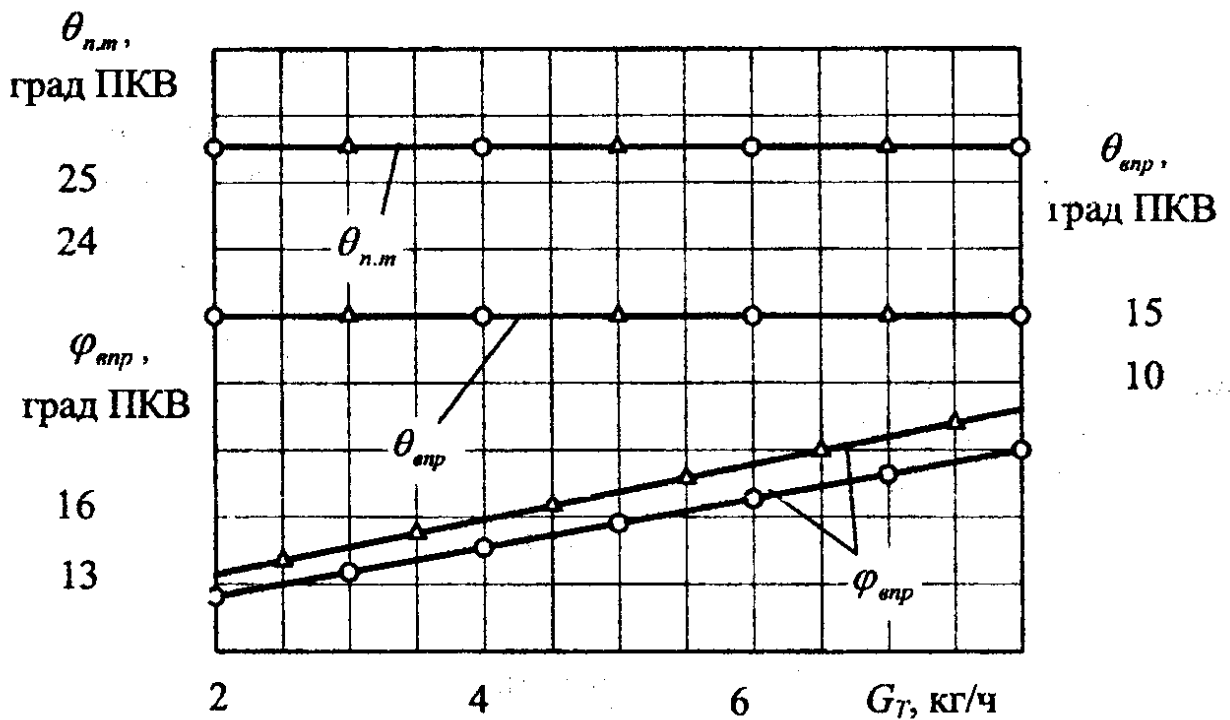


Рисунок 5.

Зависимость продолжительности и угла опережения впрыскивания топлива от часового расхода топлива при работе дизеля по нагрузочной характеристике:
 — Δ — распылитель $5 \times 0,30 \times 130^\circ$; — \circ — распылитель $5 \times 0,40 \times 130^\circ$.

Экспериментально получена зависимость времени очистки топливных форсунок динамическим методом от частоты подачи и от величины цикловой подачи жидкости (рис. 7). Она носит явно выраженный нелинейный характер и может быть выражена следующей функцией:

$$T_{\text{очи}} = \frac{750}{n_{\text{к.в}}} + T_0, \quad (13)$$

где $T_{\text{очи}}$ – время очистки топливной форсунки, мин;

T_0 – опытная постоянная, $T_0 = 9$ мин;

$n_{\text{к.в}}$ – частота пульсаций промывочной жидкости, мин^{-1} .

Важной особенностью динамической очистки с использованием жидкости МЛ-201, является то, что скорость очистки не зависит от величины цикловой подачи. Общий объем требуемой для очистки жидкости, используя (13), может быть выражен как:

$$Q_{\text{общ}} = V_{\text{ц}} \cdot (750 + T_0 \cdot n_{\text{к.в}}), \quad (14)$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общий объем поданной жидкости, см^3 ;

$V_{\text{ц}}$ – цикловая подача жидкости, см^3 .

Исследованием рабочего цикла развернутого дизеля У1Д6-С5, наработавшего 500 моточасов, экспериментально подтверждена высокая эффективность использования технической жидкости МЛ-201 для безразборной очистки топливных форсунок. Определялась внешняя скоростная характеристика дизеля до очистки топливных форсунок и после (рис. 8). Эффективная мощность дизеля N_e повысилась от 98 кВт до уровня нового и стала соответствовать паспортным данным 110 кВт при частоте вращения коленчатого вала 1500 мин^{-1} (повышение на 11%). Значительно повысилась экономичность дизеля – удельный эффективный расход топлива g_e снизился от 262 .. 266 до 232 ... 236 г/кВт·ч (на 9.. 11%). Очистка распылителей топливных форсунок привела также к повышению крутящего момента дизеля. Увеличение $M_{\text{кр}}$ составило 8 .. 10% и достигла паспортных значений 760 Н·м. Кроме того, очистка топливных форсунок привела к снижению жесткости работы дизеля.

Шестая глава посвящена разработке установки для безразборной очистки топливных форсунок дизелей от нагаро-смолистых отложений (рис.9). Разработаны требования, предъявляемые к установкам такого типа при безразборной очистке.

Установка должна обеспечивать подачу промывочной жидкости через топливную форсунку при ее рабочем давлении в цилиндр неработающего дизеля, изменение частоты и величины цикловой подачи промывочной жидкости в форсунку, производить диагностику форсунки по давлению начала впрыскивания и гидроплотности. Для широкого внедрения установок такого типа была разработана методика ее расчета. Расчет ведется по максимальной мощности, затрачиваемой на привод установки для безразборной очистки топливных форсунок. Разработана инженерная методика базирующаяся на методике расчета элементов топливных систем дизеля проф. Орлина А.С. Путем анализа данных, полученных на опытном образце установки для безразборной очистки топливных форсунок дизелей с различными диаметром плунжерных пар $d_{\text{пл}}$, давления начала впрыскивания $P_{\text{н.впр}}$ и количества топливных форсунок i , а также цикловой подачи и частоты пульсаций $n_{\text{к.в}}$ промывоч-

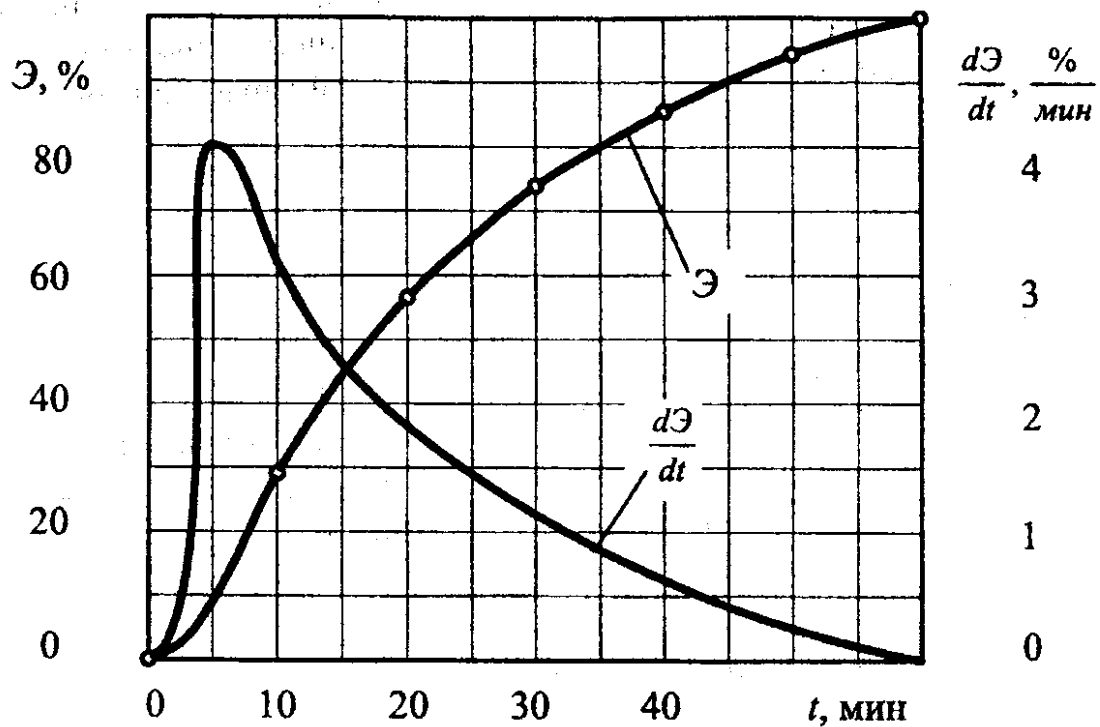


Рисунок 6.

Зависимость эффективности очистки деталей топливной аппаратуры (распылителей и щелевых фильтров в сборе) от нагаро-смолистых отложений от времени.

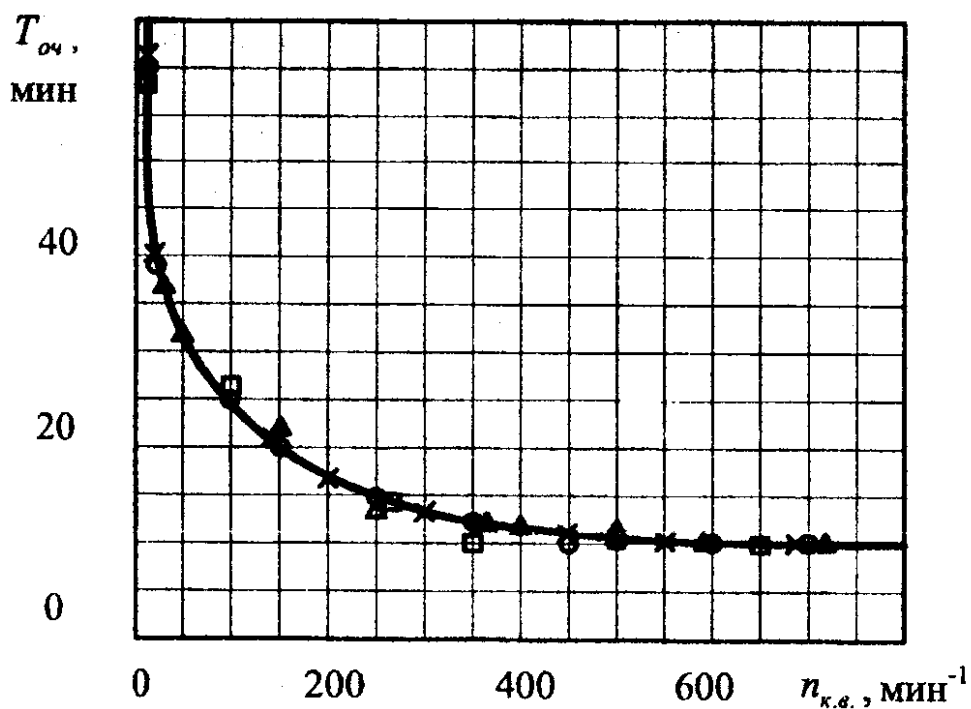


Рисунок 7.

Зависимость времени очистки топливной форсунки от нагаро-смолистых отложений от частоты пульсаций и величины цикловой подачи промывочной жидкости:

- ○ — номинальная цикловая подача;
- □ — цикловая подача равная 2/3 номинальной;
- × — цикловая подача равная 1/3 номинальной;
- △ — цикловая подача холостого хода.

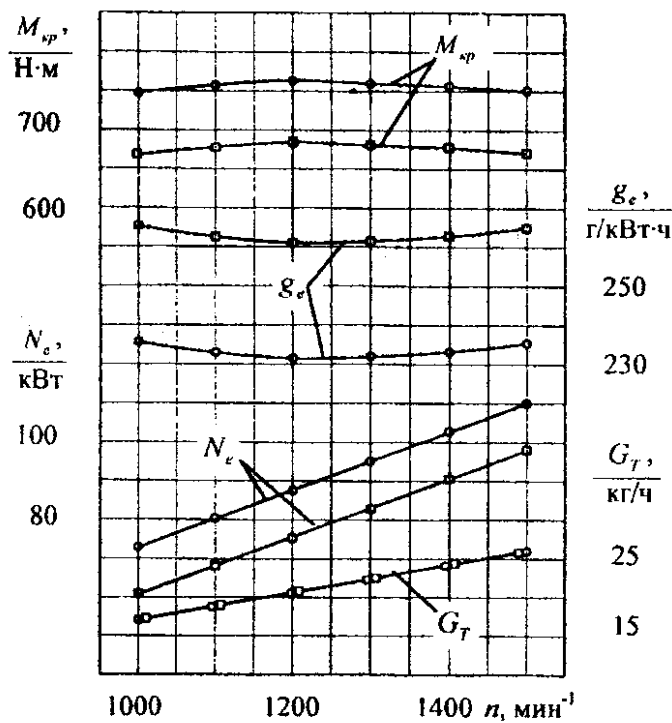


Рисунок 8.

Внешняя скоростная характеристика дизеля У1Д6-С5:

- \square — дизель с нагаро-смолистыми отложениями в топливных форсунках;
- \circ — дизель с чистыми топливными форсунками.

ной жидкости, предложена полуэмпирическая зависимость мощности, потребляемой насосом высокого давления:

$$N_n = 0,2356 \cdot d_n^3 \cdot \text{tg}(0,372 \cdot P_{н.впр} + 31,8) \cdot i \cdot \frac{n_{к.в.}}{750} \cdot a / 10^3 + N_0, \quad (15)$$

где $P_{н.впр}$ — давление начала впрыскивания топливной форсунки дизеля, МПа;

$d_{пл}$ — диаметр плунжера, мм;

i — число секций ТНВД;

$n_{к.в.}$ — частота вращения кулачкового вала ТНВД.

Также получена полуэмпирическая зависимость расчета мощности, потребляемой подкачивающим насосом:

$$N_{под} = P_{под} \cdot Q_{под} \cdot n_{к} \cdot a_{под} / 60 \cdot \eta_{под}. \quad (16)$$

Общая мощность, необходимая для привода установки:

$$N_{общ} = N_n / \eta_{прн} + N_{под} / \eta_{прпод}, \quad (17)$$

где $\eta_{прн}$ — КПД привода ТНВД;

$\eta_{прпод}$ — КПД привода подкачивающего насоса.

Таким образом, получена инженерная методика расчета установки для диагностики и безразборной очистки топливных форсунок дизелей.

В седьмой главе приводится оценка экономической эффективности внедрения предложенных мероприятий. Исходя из рекомендуемой периодичности профилактической очистки топливных форсунок дизеля каждые 500 моточасов (при обслуживании на ТО №1, №2) до проведения ТО №3, в регламенте технических работ которого предписана комплексная проверка топливных форсунок, экономия денежных средств за счет снижения удельного расхода топлива составит 7287,16 рублей на один дизель (экономится 1 035,5 л дизельного топлива). Рентабельность проведения

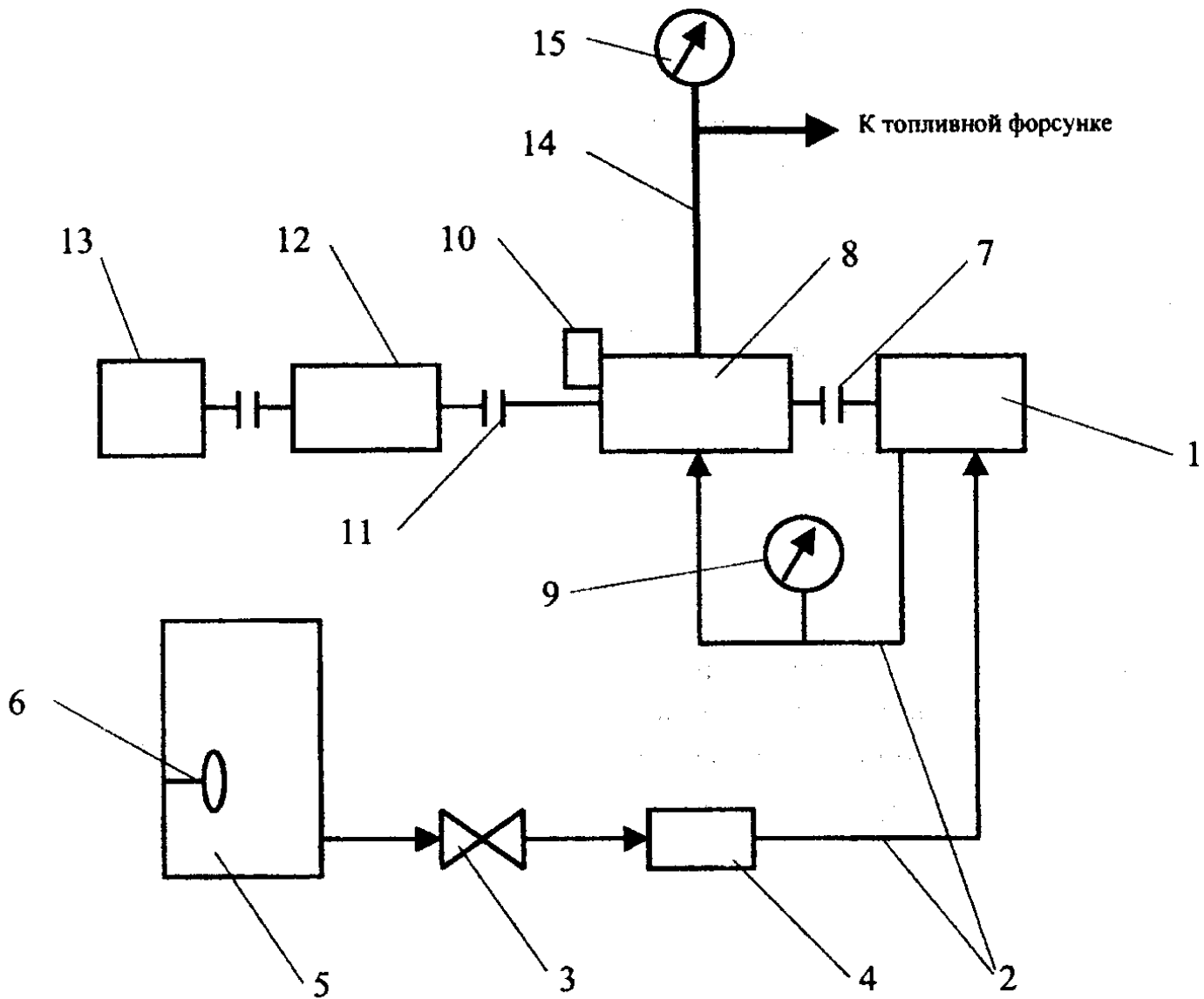


Рисунок 9.

Функциональная схема установки:

1 – подкачивающий насос; 2 – трубопроводы низкого давления; 3 – запорный вентиль; 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – бак с промывочной жидкостью; 6 – мерное устройство; 7, 11 – соединительные муфты; 8 – насос высокого давления; 9 – манометр низкого давления; 10 – устройство регулирования цикловой подачи жидкости; 12 – приводной электродвигатель; 13 – устройство ручного поворота вала при диагностике форсунки; 14 – трубопровод высокого давления; 15 – манометр высокого давления.

безразборной очистки топливных форсунок достигается уже при обслуживании первого дизеля.

Разработанная установка для безразборной очистки топливных форсунок дизелей внедрена в производство на ОЗПМ ЮУЖД.

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

Основные результаты, выводы и рекомендации

1. При существующих температурах распылителей, качестве дизельных топлив, их термоокислительной стабильности и времени контакта топлива с поверхностью распылителя нельзя полностью исключить образование нагаро - смолистых отложений в каналах топливных форсунок, снижающих мощность, топливную экономичность и работоспособность современных дизелей;

2. Определены закономерности, связывающие изменение условного проходного сечения распылителей μf_p с кинетическими показателями процесса сгорания топлива для дизелей с объемным и объемно-пленочным смесеобразованием, свидетельствующие, что при уменьшении μf_p от оптимального не приводит к изменению продолжительности сгорания в кинетической области, но общая продолжительность сгорания φ_z растет за счет диффузионной области сгорания. Показатели характера сгорания m в кинетической и диффузионной областях сгорания повышается;

3. Установлено, что при снижении условного проходного сечения распылителя μf_p дизеля с объемным способом смесеобразования на 50% индикаторная мощность N_i снижается на 7,4%, удельный индикаторный расход топлива повышается на 10,8%, температура распылителя возрастает на 6%, его деформации увеличились в осевом на 6% и радиальном на 7% направлениях.

4. Экспериментально установлено, что для дизеля с объемно-пленочным смесеобразованием уменьшение диаметра сопловых отверстий распылителя d_c от 0,4 до 0,25 (на 37,5%) влечет увеличение продолжительности впрыскивания $\varphi_{впр}$ на 25%, что вызывает рост продолжительность сгорания φ_z на 18%. Происходит снижение среднего эффективного давления P_e на 4% и повышение удельного эффективного расхода топлива g_e на 11 %.

5. Разработана методика разборного статического удаления нагаро-смолистых отложений при использовании технической жидкости МЛ 201 ТУ 0258-001-4248991-99 с полной очисткой форсунок в течение 60 минут. После первых 10 минут замачивания удаляется до 40% нагаро-смолистых отложений, а оставшиеся становятся мягкими и легко удалимыми.

6. Разработана методика динамической безразборной очистки с удалением нагаро-смолистых отложений из топливных форсунок за 10 минут. Минимальная частота пульсаций жидкости в топливной форсунке при динамической очистке составляет 25 мин⁻¹ при минимально устойчивой цикловой подаче. Увеличение цикловой подачи жидкости в форсунке не оказывает существенного влияния на скорость удаления нагаро-смолистых отложений.

7. Разработана методика расчета, изготовлена и апробирована установка, обеспечивающая диагностику давления начала впрыскивания, гидроплотности топливных форсунок и безразборное удаление из них нагаро-смолистых отложений.

8. Экспериментально установлено, что для дизеля У1Д6-С5, наработавшего 500 моточасов и требующего проведения планового технического обслуживания после безразборной очистки топливных форсунок разработанным методом обеспечено увеличение мощностных и экономических показателей до 10%. Это соответствует уровню показателей нового обкатанного дизеля. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанный метод и для других видов дизелей

9. Разработанные мероприятия по удалению нагаро-смолистых отложений обеспечивают экономический эффект 7287,78 рублей на один дизель У1Д6-С5 при наработке 1500 моточасов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Лаврик А.Н., Григорьев В.Е., Лазарев Е.А., Терехов А.С., Лаврик А.А., Лазарев В.Е.. Очистка топливных форсунок дизелей от смолисто-коксовых отложений при техническом обслуживании и ремонте. Сб. науч. тр. МАДИ (ГТУ); УФ МАДИ (ГТУ). М., 2001. стр. 135-138.
2. Лаврик А.Н., Лазарев В.Е., Терехов А.С., Лаврик А.А., Лазарев Е.А.. Анализ факторов, влияющих на закоксовывание сопловых отверстий распылителей топливных форсунок дизелей // Научный вестник – Челябинск: ЧВАИ, 2001. – Вып. 12, стр. 31-37.
3. Лаврик А.Н., Терехов А.С., Григорьев В.Е. Методика расчета установки для безразборной очистки топливных форсунок дизелей от нагаро-смолистых отложений // Актуальные проблемы и практики современного двигателестроения: Труды Международной научно-технической конференции. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 263 с., стр. 207-209.
4. Лаврик А.Н., Терехов А.С., Григорьев В.Е. Удаление нагаросмолистых отложений с деталей топливных форсунок дизелей технической жидкостью МЛ-201 // Научный вестник – Челябинск: ЧВАИ, 2001. – Вып. 14, стр. 138-142.
5. Пат. RU 2191276 С1, 7 F 02 В 77/04. Устройство для безразборной очистки дизелей от смолисто-коксовых отложений / Лаврик А.Н., Лазарев Е.А., Терехов А.С., Лаврик А.А., Григорьев В.Е. Заявлено 04.10.2001., Опубл. 20.10.2002 Бюл. №29.
6. Решение о выдаче патента РФ на изобретение "Очищающий состав" авторов Колобухова А.А., Лаврика А.Н., Лаврика А.А., Терехова А.С. по заявке № 2001124683/04(026351) с приоритетом от 06.09.2001.
7. Терехов А.С., Лаврик А.Н., Лазарев Е.А.. Влияние закоксовывания сопловых отверстий распылителей топливоподающих форсунок на рабочий цикл дизеля // Научный вестник – Челябинск: ЧВАИ, 2001. – Вып. 12, стр. 37-41.
8. Терехов А.С., Лазарев В.Е., Лаврик А.Н., Лазарев Е.А. Влияние коксования топлива в сопловых отверстиях распылителя топливоподающей форсунки на параметры процесса сгорания и показатели рабочего цикла дизеля // Конструирование и эксплуатация наземных транспортных машин: Сборник трудов – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 204 с., стр. 67-70.