

На правах рукописи



КОНДРЕНКО Виталий Андреевич

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ
ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ
ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ
РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК**
(на примере дизелей типа ЧН 12/12)

05.04.02 - Тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул-2008

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «15 Центральный автомобильный ремонтный завод» Министерства обороны РФ

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кукис Владимир Самойлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лебедев Борис Олегович

кандидат технических наук, доцент
Кулманакон Сергей Павлович

Ведущая организация: ОАО НИИ «Автотракторной техники»

Защита состоится 2 июля 2008 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.03 при Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038 г. Барнаул, пр. им. В.И. Ленина, 46 (тел/факс (3852) 26 05 16; E-mail: D21200403@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета.

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

Автореферат разослан « » мая 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

А.Е. Свистула

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение эффективности широко применяемых форсированных дизелей типа ЧН 12/12 является одной из наиболее актуальных проблем их совершенствования. Практика эксплуатации показывает, что под действием различных факторов возрастают потери в процессах преобразования энергии в двигателе, прежде всего, в его рабочем цикле. Наиболее существенное влияние на эффективность преобразования энергии оказывает качество процессов впрыскивания, распыливания, смесеобразования и сгорания топлива. Одним из основных факторов, влияющих на эти процессы, являются степень подвижности иглы распылителя и состояние трибосопряжений, зависящие от его тепломеханической напряженности.

Анализ литературы показал, что требования к области допустимого изменения характеристик тепломеханической напряженности распылителей, при которой обеспечиваются требуемые характеристики форсированных дизелей, не вполне сформулированы. Поэтому существующие методы совершенствования конструкции форсунок не уделяют должного внимания стабилизации их характеристик на стадии проектирования. Также в недостаточной степени учитывается возможность снижения тепломеханической напряженности распылителей воздействием на параметры рабочего цикла. Это определяет актуальность настоящего исследования.

Цель работы - разработать и оценить методы и средства снижения тепломеханической напряженности распылителей форсунок форсированных дизелей типа ЧН 12/12 с позиций повышения их технического уровня.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих **задач**:

1. Обосновать область безопасных значений тепломеханической напряженности распылителей с позиций обеспечения безотказности форсированных дизелей и на этой основе сформулировать условия работоспособности распылителей, установить закономерности изменения их характеристик в функции конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов (возмущений) и обосновать применимость методов синтеза рациональных параметров рабочего цикла и конструктивных параметров форсунок на стадии проектирования.

2. На основе развития модели процессов преобразования энергии в рабочем цикле дизеля и применения модели определения сложноподвижного состояния распылителей оценить возможности снижения тепломеханической напряженности распылителей до безопасного уровня ограничением теплового потока за счет воздействия на показатели рабочего цикла и применения теплозащитного экранирования.

3. Определить совокупность рациональных параметров рабочего цикла форсированного дизеля и конструктивных параметров форсунок, обеспечивающих требуемое снижение тепломеханической напряженности распылителей и применимость безразборных методов и средств технического обслуживания форсунок без демонтажа с двигателя.

4. Экспериментально исследовать эффективность разработанных методов и средств снижения тепломеханической напряженности распылителей и совершенствования конструкции форсунок с позиций возможности повышения технического уровня форсированных дизелей типа ЧН 12/12.

Объект исследования - рабочий процесс в форсированных дизелях типа ЧН 12/12 (КамАЗ-740.30-260) с газотурбинным наддувом, промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, объемно-пленочным способом смесеобразования в полуразделенной камере сгорания, оборудованных форсунками закрытого типа с гидромеханическим способом управления и удлиненными распылителями с наличием теплозащитного экранирования распылителя и без него.

Предмет исследования - закономерности изменения ограничительных параметров распылителей по тепломеханической напряженности в функции показателей рабочего цикла, конструктивных и регулировочных параметров форсунок, обеспечивающие безотказность форсированных дизелей.

Научная новизна. В диссертации:

- развита концепция совершенствования конструкции форсунок, позволяющая на стадии проектирования учитывать влияние производственных (ремонтных) и эксплуатационных факторов и обосновывающая (с позиций обеспечения безотказности форсированных дизелей) необходимость применения комплекса средств снижения тепломеханической напряженности распылителей, а также безразборных методов и средств технического обслуживания форсунок;

- сформулированы условия обеспечения работоспособности форсунок по ограничительным параметрам тепломеханической напряженности распылителей в виде критериев работоспособности, базирующиеся на установленных закономерностях изменения этих ограничительных параметров в функции показателей рабочего цикла, конструктивных и регулировочных параметров форсунок.

Практическая ценность. Разработанные методы и средства способствуют на стадиях проектирования, производства (ремонта) и эксплуатации обеспечению требуемой безотказности форсированных дизелей, повышают эффективность их применения и сокращают затраты времени и средств на проведение их технического обслуживания. Полученные результаты применимы для других типов форсированных дизелей.

Реализация результатов работы. Разработанные технические решения и методики внедрены: на ФГУП «15 Центральный автомобильный ремонтный завод» МО РФ (г. Новосибирск); при проведении НИОКР по повышению технического уровня форсированных дизелей типа ЧН 12/12 НПП «Агродизель» (г. Москва), а также используются в учебном процессе при выполнении курсовых, дипломных проектов и чтении отдельных разделов лекций по дисциплинам «Двигатели военной автомобильной техники» в Челябинском высшем военном автомобильном командно-инженерном училище (военном институте) и «Термодинамика и рабочие процессы двигателей» в профессионально-педагогическом институте Челябинского государственного педагогического университета.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены и одобрены на научно-технической конференции «Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин» (г. Челябинск, 2005); НТС ОАО «НИИ Авторакторной техники» (г. Челябинск, 2006); Международном Форуме по проблемам науки, техники и образования (г. Москва, 2007); научном семинаре НТС НПП «Агродизель» (г. Москва, 2007); II съезде инженеров Сибири (г. Омск, 2008); научно-методическом семинаре с участием сотрудников кафедр двигателей и эксплуатации военной автомобильной техники Челябинского высшего военного автомобильного командно-инженерного училища (г. Челябинск, 2008), техническом совете ФГУП «15 Центральный автомобильный ремонтный завод МО РФ» (г. Новосибирск, 2006-2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано девять печатных работ, в том числе две работы в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и содержание работы. Диссертация содержит 168 с. текста, 48 рисунков, 5 таблиц и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 132 наименования и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, поставлена цель, сформулированы научная новизна и практическая ценность работы, дана её общая характеристика и изложено краткое содержание.

В **первой главе** проанализированы актуальные вопросы повышения эффективности автомобилей производства КамАЗ, во многом зависящие от увеличения параметрической безотказности форсированных дизелей типа ЧН 12/12, обоснованы задачи, решение которых позволило достичь цели работы. На основании анализа работ научных школ ЦНИТА, ЦНИДИ, НАТИ, НАМИ, ВИСХОМ, ГОСНИТИ, СПбГАУ, МВТУ, МАДИ, АГТУ, ВПИ, ЮУрГУ и др. установлено, что, несмотря на достигнутый технический уровень бесштанговых форсунок, современные технологии их производства

(ремонта) и достаточную культуру технического обслуживания, в процессе эксплуатации происходит существенное ухудшение их работоспособности. Это обусловлено, прежде всего, тепломеханической нагруженностью и напряженностью распылителей, характеризующихся значениями температур распылителя, напряжений и деформаций, в том числе монтажных. По этой причине повышается трение, последующий износ трибосопряжений и снижается подвижность иглы, особенно на начальных стадиях эксплуатации, что сопровождается интенсификацией нагаро- и смолоотложения (рис. 1).

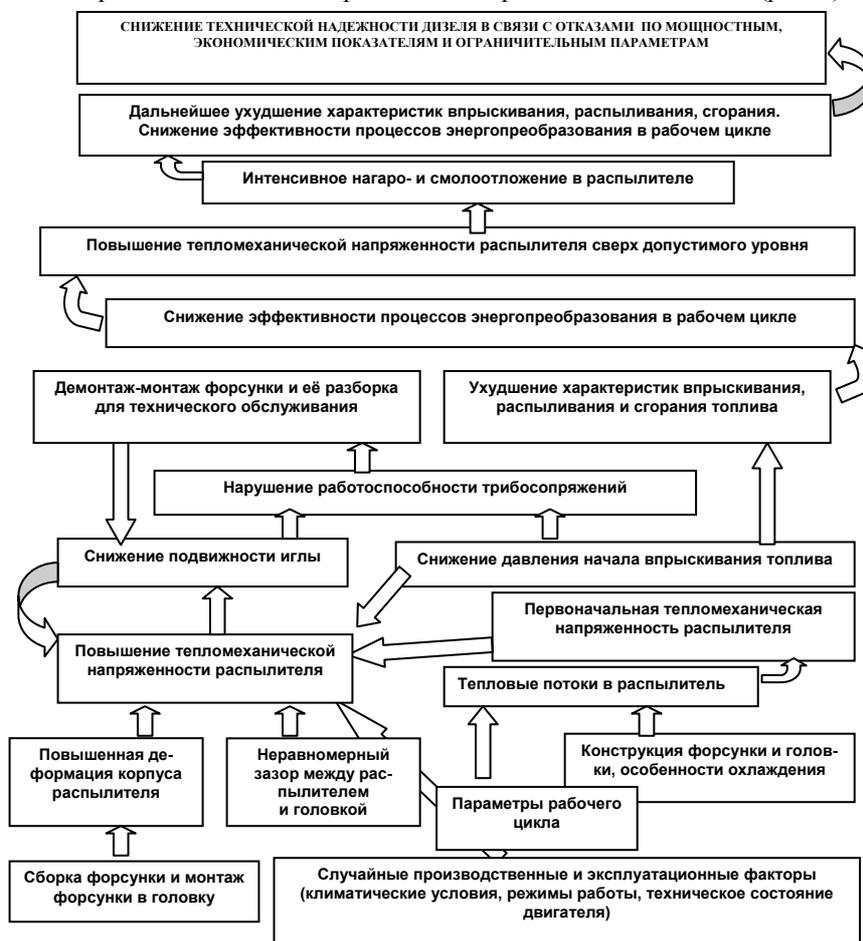


Рис. 1. Механизм снижения безотказности (технического уровня) форсированных дизелей вследствие нарушения работоспособности форсунок

Это усугубляется рядом недостатков конструкции, технологии сборки и технического обслуживания, обусловленных переборками для регулирования давления с постоянными нарушениями приработанных трибосопряжений, последующими монтажными деформациями и некачественной центровкой форсунок в головки цилиндрах. Эти факторы не вполне учитываются на стадиях проектирования, что приводит к ухудшению качества процессов впрыскивания, распыливания, смесеобразования и сгорания топлива и уменьшению эффективности процессов преобразования энергии в цилиндрах дизеля. В конечном счете, ограничительные параметры форсунок выходят за допустимые пределы, и снижается параметрическая безотказность форсированных дизелей.

Во *второй главе* рассмотрены задачи анализа и синтеза рациональных параметров рабочего цикла и конструктивных параметров форсунок на стадии проектирования. Сформулированы условия работоспособности форсунок форсированных дизелей по тепломеханической напряженности. Эти условия представляют систему неравенств, учитывающих их величины и вероятности изменения в конкретных условиях производства (ремонта) и эксплуатации:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{рсп}}^{\text{экс}} &\leq t_{\text{рсп}}^{\text{доп}}; t_{\text{рсп}}^{\text{без}} \pm \Sigma \Delta t_{\text{рсп}i} \cdot p_{\tau_i} \leq t_{\text{рсп}}^{\text{доп}}; \\ K_T^{\text{без}} &\leq K_T^{\text{доп}}; K_T^{\text{без}} \pm \Sigma \Delta K_{T_i} \cdot p_{\tau_i} \leq K_T^{\text{доп}}; \\ \Phi_{\text{впр}}^{\text{экс}} &\leq \Phi_{\text{впр}}^{\text{в}}; \Phi_{\text{впр}}^{\text{ном}} + \Sigma \Phi_{\text{впр}i}^{\text{пр}} \cdot p_{\tau_i} + \Sigma \Delta \Phi_{\text{впр}i}^{\text{экс}} \cdot p_{\tau_i} \leq \Phi_{\text{впр}}^{\text{в}}; \\ p_{\text{ф}}^{\text{н}} &\leq p_{\text{ф}}^{\text{экс}} \leq p_{\text{ф}}^{\text{в}}; p_{\text{ф}}^{\text{н}} \leq p_{\text{ф}}^{\text{ном}} - \Sigma \Delta p_{\text{ф}i}^{\text{пр}} \cdot p_{\tau_i} - \Sigma \Delta p_{\text{ф}i}^{\text{экс}} \cdot p_{\tau_i} \leq p_{\text{ф}}^{\text{н}}; \\ \delta_{\text{м}}^{\text{экс}} &\leq \delta_{\text{м}}^{\text{доп}}; \delta_{\text{м}}^{\text{без}} \pm \Sigma \Delta \delta_{\text{м}i} \cdot p_{\tau_i} \leq \delta_{\text{м}}^{\text{доп}}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $t_{\text{рсп}}^{\text{экс}}, t_{\text{рсп}}^{\text{без}}, t_{\text{рсп}}^{\text{доп}}, K_T^{\text{экс}}, K_T^{\text{без}}, K_T^{\text{доп}}, \delta_{\text{м}}^{\text{экс}}, \delta_{\text{м}}^{\text{без}}, \delta_{\text{м}}^{\text{доп}}$ - безопасные, эксплуатационные и допустимые значения температуры распылителя, критерия теплонагруженности Костина и монтажных деформаций; $\Phi_{\text{впр}}^{\text{экс}}, \Phi_{\text{впр}}^{\text{ном}}, \Phi_{\text{впр}}^{\text{в}}, p_{\text{впр}}^{\text{экс}}, p_{\text{впр}}^{\text{ном}}, p_{\text{впр}}^{\text{в}}, p_{\text{ф}}^{\text{н}}$ - номинальные, эксплуатационные и допустимые (нижние и верхние) значения параметров, характеризующих подвижность иглы; $\Delta t_{\text{рсп}i}, \Delta K_{T_i}, \Delta \delta_i, \Delta \Phi_{\text{р}i}^{\text{пр}}, \Delta \Phi_{\text{р}i}^{\text{экс}}, \Delta p_{\text{р}i}^{\text{пр}}, \Delta p_{\text{р}i}^{\text{экс}}, p_{\tau_i}$ - изменения параметров, связанные с производством (ремонтом) и эксплуатацией и вероятности их появления.

Выполнимость условий работоспособности обусловлена не превышением эксплуатационными значениями параметров допустимых значений. Литературные данные (Грехов Л.В., Николаенко А.В., Трусов В.И. и др.) и данные автора устанавливают максимальные величины изменения параметров в процессах производства (ремонта) и эксплуатации и вероятности их появления, что необходимо для анализа (Проников А.С. и др.).

Выполнимость условий (1) можно обеспечить на стадии проектирования. Для этого автор рекомендует методы: нормирования (регламентирующий область изменения параметров); нагрузочного резервирования (параметрической избыточности), реализуемый за счет уменьшения безопасных значений ограничительных параметров (до температуры 160 °С, критерия теплонагруженности до 4,5); уменьшения области возмущений (их величин и вероятности) и безразборного восстановления работоспособности форсунок.

Возможности снижения теплонагруженности распылителей до безопасного уровня воздействием на показатели рабочего цикла давлением и температурой наддувочного воздуха определены аналитически на основе развития модели процессов преобразования энергии в рабочем цикле дизеля. В основе этой модели лежит широко применяемая модель (Вибе И.И., Лазарев Е.А., и др.), дополненная определением критериев теплонагруженности (Костин А.К.) и дымности отработавших газов (Бунов В.М.).

Анализ показал, что процесс сгорания характеризуется наличием двух периодов процесса: начального периода взрывного сгорания и основного периода диффузионного сгорания. В этой связи известное полуэмпирическое уравнения сгорания Вибе использовалось для описания не всего процесса сгорания, а его отдельных периодов (Лазарев Е.А., Арав Б.Л. и др.):

$$x = 1 - e^{-6,908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_n}\right)^{m_n - m_o} \left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m_o + 1}} \quad \text{при } \varphi > \varphi_n, m_n = m_o, \quad (2)$$

где x - доля топлива, выгоревшего к моменту φ ; m_n и m_o - показатели характера сгорания в начальном и основном периодах; φ_n и φ_z - продолжительности начального и основного периодов процесса.

Моделирование выполнялось на характерных для исследуемого дизеля режимах средних нагрузок и частот вращения при условии неизменности мощности двигателя, что обеспечивалось корректированием подачи топлива и учитывалось изменением величины коэффициента избытка воздуха и изменением продолжительности процесса сгорания (Драгунов Г.Д., Лазарев Е.А., Woschni G.).

С использованием алгоритма и программного комплекса «ТЕДА» (Иващенко Н.А.), а также рекомендаций Костина А.К., Николаенко А.В., Вошни Г., Петриченко Р.М., Розенблита Г.Б., Лазарева В.А и др. установлено эффективность ограничения теплового потока в распылитель применением теплозащитного экранирования.

На основе анализа выполнимости условий работоспособности форсунок синтезированы рациональные параметры рабочего цикла и конструк-

тивные параметры форсунок. Установлено, что наиболее эффективно комплексное применение теплозащитного экранирования и охлаждения наддувочного воздуха, однако его применимость целесообразна при дальнейшем форсировании исследуемых дизелей.

В *третьей главе* описан объект и методики исследования, экспериментальные установки, методы и погрешности измерений и анализа. Особенностью исследования является сочетание вычислительных и натурных экспериментов. Рассмотрены измерительная аппаратура и специальное оборудование. Усовершенствованы методики экспериментальных исследований рабочего процесса двигателя на основе оригинального дифференцирующего устройства для определения динамических показателей цикла. Рассмотрены особенности упрощенной методики определения кинетических показателей процесса сгорания.

В *четвертой главе* экспериментально исследованы закономерности изменения показателей рабочего цикла дизеля и ограничительных параметров форсунок в функции конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов (возмущений) и их влияние на параметрическую безотказность дизеля.

Все возмущения независимо от места и природы возникновения по характеру и периодичности возникновения разделены на детерминированные, случайно-детерминированные и случайные. К детерминированным отнесены возмущения, обусловленные особенностями конструкции и условиями применения. Случайно-детерминированной является большая группа штатных возмущений, обусловленная особенностями конструкции, производства (ремонта) и эксплуатации. Третья группа возмущений отнесена к случайным.

Установлен потенциальный уровень показателей рабочего цикла и ограничительных параметров форсунок и его изменение на начальных стадиях эксплуатации. Обобщена динамика изменения характеристик форсунок и топливной аппаратуры. Установлено, что в результате совместного действия монтажных и рабочих деформаций в корпусе распылителя в период первых 50–150 часов работы в стендовых условиях происходит существенное ухудшение подвижности игл распылителей и характеристик впрыскивания и распыливания топлива. Снижается количество работоспособных форсунок; увеличивается неравномерность подачи топлива до величин, не соответствующих требованиям стандартов; снижается цикловая подача топлива при увеличении продолжительности впрыскивания и ухудшении динамики подъема и посадки иглы. На направляющих распылителей имеются следы задиров и появления приработки с вырывом металла с поверхностных или глубинных слоев.

- выполнение отверстий в экране для выхода топливных факелов диаметром не менее 3,5-4,0 диаметров сопловых отверстий и соосных с ними;
- выполнение в носовой части экрана дренажного отверстия для выхода топлива.

Полное теплозащитное экранирование распылителей обеспечивает существенное снижение температуры носка распылителя (рис. 3), что совпадает с результатами моделирования, причем эффективность средства возрастает с увеличением нагрузки.

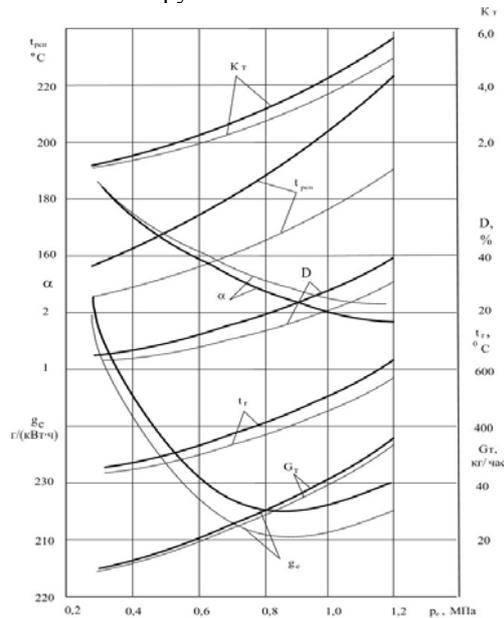


Рис. 3. Эффективность применения полного теплозащитного экранирования:
 распылитель с полным теплозащитным экранированием; — распылитель штатный

Возможна работа дизеля без параметрических отказов по ограничительным параметрам форсунок, при форсировании до 15-20 кВт/л, однако при параметрических отказах по другим ограничительным параметрам (в частности по дымности отработавших газов), что не соответствует современным требованиям.

Охлаждение наддувочного воздуха также обеспечивает снижение температуры носка распылителя до безопасного уровня при исходном уровне форсирования и одновременном снижении тепловых потоков в детали и их теплонагруженности, улучшении топливной экономичности,

D,

G_T,
кВт/ч

D, %

снижении температуры и дымности отработавших газов (рис. 4).

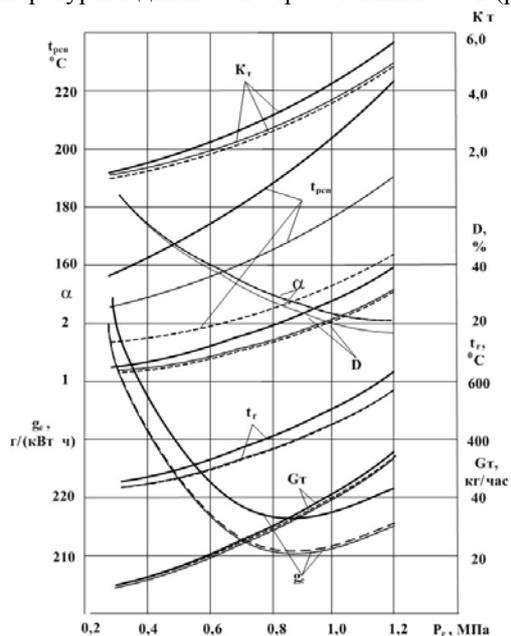


Рис. 4. Эффективность применения охлаждения наддувочного воздуха при работе по нагрузочной характеристике дизеля типа ЧН 12/12 ($n = 2000 \text{ мин}^{-1}$):
 — без охлаждения наддувочного воздуха, распылитель штатный; с охлаждением наддувочного воздуха: - - - распылитель штатный; — — — распылитель с полным теплозащитным экранированием

Также возможна длительная работа дизеля без параметрических отказов по всем ограничительным параметрам, при форсировании до 15-20 кВт/л, что вполне соответствует современным требованиям.

Однако, наиболее эффективно комплексное применение охлаждения наддувочного воздуха и полного экранирования распылителей (см. рис. 4). При этом возможна длительная работа дизеля без параметрических отказов, при форсировании более 20 кВт/л.

На основе анализа конструкции бесштанговых форсунок (Грехов Л.В., Файнлейб Б.Н., Крохотов Ю.М.) и выявленных в главе 1 основных недостатков автором применен узел регулирования давлений начала впрыскивания топлива (рис. 5).

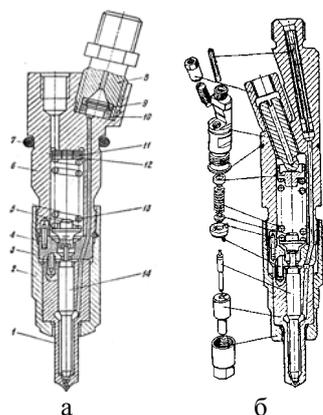


Рис. 5. Штатная (а) и модернизированная (б) форсунки дизеля типа ЧН 12/12:

1 - корпус распылителя; 2 - гайка распылителя; 3 - проставка; 4 - штифт; 5 - штанга; 6 - корпус форсунки; 7 - кольцо; 8 - штуцер; 9 - фильтр; 10 - втулка; 11 и 12 - регулировочные прокладки; 13 - пружина; 14 - игла

При этом эффективность совершенствования форсунок подтверждена сравнительными испытаниями и обусловлена: исключением их разборки для регулирования давления за счет прокладок с нарушением приработанных трибосопряжений и возникновения дополнительных монтажных деформаций; возможностью применения безразборных методов и средств технического обслуживания. Дополнительно разработаны конкретные рекомендации, компенсирующие влияние производственных возмущений (изменение порядка сборки двигателя).

Безразборные методы и средства технического обслуживания позволяют: без демонтажа с двигателя выполнять диагностирование технического состояния форсунок и регулирование давления начала впрыскивания с одновременной безразборной очисткой от нагаро-смолистых отложений; обеспечить, после выполнения технического обслуживания, требуемые значения основных показателей и ограничительных параметров дизеля, что невозможно при применении традиционных методов и средств.

Для этого применено приспособление и технологический регламент, обеспечивающие возможность технического обслуживания форсунок, включая их безразборную очистку от нагаро-смолистых отложений в статико-динамическом режиме. Установлена эффективность применения промывочной жидкости МЛ-201 (Лаврик А.Н.).

По результатам стендовых испытаний установлено, что восстановление характеристик форсунок и топливной аппаратуры в целом приводит к существенному повышению параметрической безотказности и, таким образом, к повышению технического уровня дизелей, в частности, к стабилизации их мощностных и экономических показателей, дымности и температуры отработавших газов в допустимой области.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Установлена целесообразность совершенствования конструкции форсунок применением на стадиях проектирования, производства (ремонта) и эксплуатации следующих методов: нормирования; нагрузочного резервирования; уменьшения области возмущений и безразборного восстановления работоспособности. Они реализованы на основе обоснования, разработки и исследования следующих методов и средств, предусматривающих: полное теплозащитное экранирование распылителей с образованием разделенных воздушных закрытых и открытой полостей; охлаждение наддувочного воздуха; модернизацию форсунок разработкой узла регулирования давления начала впрыскивания топлива и их приспособлением для использования современных безразборных методов и средств технического обслуживания.

2. Сформулированы условия обеспечения работоспособности форсунок по ограничительным параметрам тепломеханической напряженности распылителей в виде критериев работоспособности, базирующиеся на установленных закономерностях изменения этих ограничительных параметров в функции показателей рабочего цикла, конструктивных и регулировочных параметров форсунок.

3. Установлены закономерности изменения ограничительных параметров форсунок дизелей типа ЧН 12/12 по тепломеханической напряженности распылителей в функции конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов (возмущений) и обоснована необходимость уменьшения их безопасных значений до значений температуры носка распылителя 160 °С, критерия теплонагруженности 4,5 и величин монтажных деформаций.

4. Установлена целесообразность увеличения коэффициента избытка воздуха до 2,1-2,2 за счет охлаждения наддувочного воздуха до температуры 80-90 °С для требуемого ограничения теплового потока в распылитель, определены рациональные конструктивные параметры теплозащитного экрана и спроектирован оригинальный распылитель, ограничительные параметры которого находятся в допустимой области.

5. Результаты моделирования, подтвержденные экспериментально, показали: что экранирование распылителя позволяет на режимах нагрузочных характеристик уменьшить температуры носка на 70-90 °С, уплотняющей поверхности иглы - на 30-40 °С, эти температуры находятся в допустимой области и не превышают соответственно 160 и 130 °С, что гарантирует его работоспособность; граничное значение теплового потока в распылитель, при котором целесообразно применение теплозащитного экрана, характеризуется значением критерия тепловой нагруженности не бо-

лее 4,5 и может быть определено при выполнении проектировочных расчетов двигателя; наиболее эффективным средством снижения тепломеханической напряженности распылителей при форсировании дизелей является совместное применение охлаждения наддувочного воздуха в штатном охладителе дизеля до значений $t_k = 80-90$ °С и теплозащитное экранирование распылителя. Допустимый уровень форсирования дизеля без ущерба для работоспособности распылителя увеличивается на 30-35 % по сравнению с исходным вариантом.

6. Разработаны и внедрены рекомендации по совершенствованию технологии сборки двигателя, компенсирующие влияние многочисленных случайных факторов, нарушающих характеристики форсунок на начальных стадиях эксплуатации вследствие роста монтажных деформаций и повышения тепломеханической нагруженности и напряженности распылителя.

7. Применен узел регулирования давления начала впрыскивания топлива, исключающий необходимость разборки форсунок при технических обслуживаниях и обеспечивающий её приспособленность к современным способам диагностирования и регулирования без демонтажа с двигателя с одновременной безразборной очисткой от нагаро-смолистых отложений. Достаточная безотказность модернизированной форсунки установлена ускоренными циклическими испытаниями.

8. С участием автора внедрены средство и методика поддержания и восстановления стабильности характеристик форсунок, реализованные в простом ручном приспособлении, обеспечивающем возможность технического обслуживания форсунок, включая их безразборную очистку от нагаро-смолистых отложений в статико-динамическом режиме.

9. Применение разработанных методов и средств в дизелях типа ЧН 12/12,5 с наработкой до 1000 моточасов обеспечивает достижение допустимых показателей и ограничительных параметров в том числе: увеличение номинальной мощности на 8-10 %, снижение удельного расхода топлива в среднем на 8-11 %; температуры отработавших газов до 40 °С и дымности отработавших газов до 30 %; нахождение ограничительных параметров форсунок по тепломеханической напряженности распылителей в допустимой области.

11. Внедрение результатов исследования обеспечивают экономический эффект более 10100 рублей на двигатель типа ЧН 12/12 за срок службы (в ценах 2007г.), что подтверждается соответствующими расчетами.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Кондренко В.А Условия работоспособности форсунок по параметрам тепломеханической нагруженности и напряженности / В.А. Кондренко, Б.Л. Арав., Ю.А. Рудик // Экологическая безопасность транспорта: сб. статей / Под ред. д.т.н., профессора А.А. Мельберт. – Барнаул: 2006. – С. 85–90 с.
2. Кондренко В.А К вопросу определения соотношения между безопасными и допустимыми ограничительными параметрами распылителей форсунок по тепломеханической нагруженности и напряженности на стадии проектирования / В.А. Кондренко, Б.Л. Арав., Ю.А. Рудик // Экологическая безопасность транспорта: сб. статей / Под ред. д.т.н., профессора А.А. Мельберт. – Барнаул: 2006. – С. 90–94.
3. Кондренко В.А. К вопросу обеспечения стабильности характеристик форсунок форсированных дизелей / В.А. Кондренко // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин: науч. вестник ЧВВА-КИУ. Челябинск, 2006. – Вып. 18. – С. 98–102.
4. Кондренко В.А. Влияние конструктивных и технологических факторов на стабильность характеристик форсунок Форсированных автомобильных дизелей / В.А. Кондренко // Повышение экологической безопасности автотракторной техники. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – С. 79–86
5. Кондренко В.А Особенности моделирования рабочего цикла при изменении характеристик форсунок вследствие нагаро-смолоотложения / В.А. Кондренко // Повышение экологической безопасности автотракторной техники. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – С. 73–79.
6. **Кондренко В.А Эффективность применения теплозащитного экранирования распылителей форсунок форсированных дизелей / В.А. Кондренко // Ползуновский вестник. – №4. – Барнаул, 2007. – С. 47–49.**
7. Кондренко В.А. Эффективность снижения тепломеханической нагруженности и напряженности распылителей форсунок форсированных дизелей за счет охлаждения наддувочного воздуха / В.А. Кондренко, В.С. Кукис // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования (Москва 4-7 декабря 2007). – М.: Академия наук о земле, 2007. – С. 46–48.
8. **Кондренко В.А Влияние охлаждения наддувочного воздуха на тепломеханическую нагруженность и напряженность распылителей форсунок дизелей типа ЧН 12/12 / В.А. Кондренко // Транспорт Урала – Вып. 1. - 2008. – С. 79-80.**
9. Кондренко В.А Зависимость стабильности регулировочных параметров форсунок дизелей от конструктивных факторов / В.А. Кондренко // Материалы II съезда инженеров Сибири (20-21 марта 2008). – Ч. 2. – Омск: изд-во ОмГТУ, 2008. – С. 137–143.