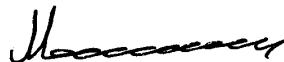


На правах рукописи



**Матиевский Герман Дмитриевич**

**СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА И ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЯ  
НА РЕЖИМАХ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ**

05.04.02 – тепловые двигатели

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

Барнаул - 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ) на кафедре двигателей внутреннего сгорания.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Свистула Андрей Евгениевич.**  
Научный консультант: кандидат технических наук, доцент  
**Брякотин Максим Эдуардович.**

Официальные оппоненты:

**Кукис Владимир Самойлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», ведущий эксперт кафедры «Колесные, гусеничные машины и автомобили».

**Титов Сергей Владиленович**, кандидат технических наук, доцент, ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта», доцент кафедры «Судовые двигатели внутреннего сгорания».

Ведущая организация: **ОАО ХК «Барнаултрансмаш»**, г. Барнаул.

Защита состоится «05» декабря 2013 г. в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.03 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр.Ленина, 46, АлтГТУ (тел/факс (3852)298722; E-mail: D21200403@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

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

Автореферат разослан «30» октября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



С.П. Кулманакوف

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Важной научно-технической проблемой современного двигателестроения является обеспечение постоянно ужесточающихся норм по расходу топлива и вредных выбросов отработавших газов (ОВ). Она решается комплексом разноплановых мероприятий, в том числе и выполнением ряда специфических, связанных с особенностями работы потребителя. Так в дизель-генераторах с всережимным генератором и преобразователем частоты, используемых в энергетических комплексах на базе гибридных энергоустановок, предпочтительна работа дизеля по оптимизационной характеристике, обеспечивающей наименьший расход топлива на заданной мощности. Для дизелей промышленного и сельскохозяйственного назначения необходимо иметь значение коэффициента приспособляемости порядка 1,4, что дает преимущества в тягово-экономических показателях и разгонных качествах машино-тракторного агрегата.

Задачи оптимизации скоростного режима и условий обеспечения по расходу топлива и воздуха необходимого значения коэффициента приспособляемости имеют единый подход к решению, основанный на проведении расчетно-экспериментальных исследований характеристик постоянной мощности (ХПМ) и разработке мероприятий, повышающих экономические и экологические показатели дизеля на режимах ХПМ, чему и посвящена данная работа.

Из мероприятий актуально рассмотрение возможностей топливоподающих систем высокого давления типа Common Rail (CR) с электронным управлением параметрами впрыска. Важно и накопление опыта работы с системами CR, созданными на компонентах отечественных производителей.

**Цель работы** – снижение расхода топлива и вредных выбросов отработавших газов дизеля на режимах постоянной мощности оптимизацией частоты вращения коленчатого вала и регулировочных параметров топливной аппаратуры непосредственного действия и типа CR.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

1 Выполнить исследование совокупности ХПМ, располагаемых в поле возможных режимов работы дизеля и отличающихся значением мощности  $N_{econst}$ , и предложить их классификацию по влиянию на величину коэффициента приспособляемости, характер изменения и величину эффективного КПД.

2 Разработать инженерную методику расчета оптимизационной зависимости между частотой вращения коленчатого вала и заданным значением постоянной мощности  $n_{opt} = f(N_{econst})$  из условия получения наименьшего расхода топлива.

3 Предложить методический комплекс, позволяющий проводить анализ и построение ХПМ, а также отыскание оптимизационной зависимости  $n_{opt} = f(N_{econst})$ .

4 Применить методический комплекс к исследованиям ХПМ дизелей ОАО «АМЗ» для выявления главных факторов обеспечения работы дизеля по ХПМ и

основных направлений снижения расхода топлива, предложить алгоритмы отыскания оптимизационных зависимостей  $n_{omn} = f(N_{econst})$ .

5 Стендовыми испытаниями дизелей оценить эффективность предложенных алгоритмов оптимизационных зависимостей  $n_{omn} = f(N_{econst})$  в сравнении с нагрузочной характеристикой на номинальной частоте при условии одинаковых значений мощностей по показателям расхода топлива и вредности отработавших газов. Выявить наиболее эффективный вариант оптимизации.

6 Экспериментальными исследованиями опытного одноцилиндрового дизеля проверить эффективность снижения расхода топлива и вредных выбросов ОГ разработанным способом двухступенчатого впрыска топливной аппаратурой непосредственного действия и аккумуляторной аппаратурой типа CR, созданной на отечественных компонентах, с оптимизацией ее параметров по давлению и моменту впрыскивания при работе по ХПМ в сравнении с типовой системой топливоподачи.

7 Для каталитического нейтрализатора ОГ конструкции СО РАН определить оптимальное значение температуры каталитического блока и достигаемую степень очистки от оксидов азота, и оценить возможность достижения рабочей температуры каталитического блока на режимах ХПМ при его установке в систему выпуска.

**Объект исследования** – характеристики постоянной мощности дизелей ОАО «АМЗ» размерности 130/140.

**Предмет исследования** – процессы, формирующие характеристику постоянной мощности и определяющие запас крутящего момента, топливную экономичность и вредные выбросы ОГ в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов, типа и регулировочных параметров топливной аппаратуры.

**Методы исследований и достоверность результатов.** В работе использованы теоретические и экспериментальные методы, хорошо известные и апробированные на практике и адаптированные к решению поставленных задач.

Достоверность результатов достигалась соблюдением требований стандартов, анализом и контролем погрешностей, сопоставлением результатов расчетов и эксперимента.

**Научную новизну** представляют следующие результаты и положения, выносимые на защиту:

- классификация ХПМ по величине мощности с выделением двух зон со своими особенностями формирования эффективного расхода топлива и величины коэффициента приспособляемости;

- методика расчета оптимизационной /по наименьшему расходу топлива/ функции  $n_{omn} = f(N_{econst})$ , выбор вида функции в зависимости от зоны расположения ХПМ и условий построения внешней скоростной характеристики (ВСХ), оценка потенциального снижения расхода топлива в сравнении с расходом по нагрузочной характеристике на номинальной частоте;

- методический комплекс исследований ХПМ, позволяющий выявлять потенциальные возможности повышения индикаторного и эффективного КПД, алгоритмы изменения цикловой подачи топлива и давления наддува и вид оптимизационной зависимости  $n_{opt} = f(N_{econst})$ ;

- результаты исследования системы двухступенчатой подачи топлива, обеспечивающей снижение расхода топлива, содержание сажи и оксидов азота в ОГ при оптимальной величине первичной подачи, определяемой, в том числе и прямыми ее потерями при попадании на стенку цилиндра;

- результаты исследования дизеля с топливной системой типа CR, являющейся эффективным средством снижения выбросов неполных продуктов сгорания с одновременным увеличением топливной экономичности при условии внедрения мероприятий по снижению оксидов азота, включающих оптимизацию давления и угла опережения впрыска топлива в сочетании с устройствами нейтрализации ОГ.

**Практическую ценность** имеет методика выбора наиболее оптимального варианта зависимости между частотой и мощностью, при которой обеспечивается снижение расхода топлива в широком диапазоне уменьшения мощности двигателя, а также рекомендации и достигнутые результаты по снижению расхода топлива и вредных выбросов применением двухступенчатой подачи топлива, системы типа CR, нейтрализатора ОГ и оптимизацией их регулировок.

**Реализация результатов работы.** Материалы диссертации используются на ОАО «АМЗ», ОАО «АлСЭН», ООО «АЗПИ» при разработке двигателей с повышенным коэффициентом запаса крутящего момента и перспективных дизелей для энергоустановок; в АлГТУ им. И.И. Ползунова в учебном процессе.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы доложены на научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава Алтайского государственного технического университета (г. Барнаул, 2009-2013), Международной конференции «Двигатель 2010», посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана (М., МГТУ, 2010); Международной научно-технической конференции «Обновление флота – актуальная проблема водного транспорта на современном этапе» (г. Новосибирск, НГавт, 2011); Международном конгрессе двигателестроителей (Украина, 2010, 2011), научно-практической конференции 5-е и 6-е Луканинские чтения (М., МАДИ, 2011, 2013) и др.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 26 печатных работ, в том числе 8 в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Она содержит 180 страниц, 3 таблицы, 46 рисунков и 120 наименований списка литературы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность работы, изложены цель и задачи исследований, научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приводится краткий обзор работ по исследованию и улучшению показателей работы дизеля по ХПМ и оптимизации скоростного режима по минимуму расхода топлива для заданной мощности. Наиболее широко и многопланово представлены работы по ХПМ, доведенные до создания двигателей постоянной мощности, где ХПМ – есть внешняя скоростная характеристика, и двигателей с двумя уровнями мощности, на одном из которых (меньшем) дизель работает по ХПМ. Вместе с тем, на отечественных дизелях медленно внедряется современная топливная аппаратура высокого давления с электронным управлением параметрами впрыска. Мало изучено совместное влияние давления и угла опережения впрыска на показатели работы дизеля и достигаемый эффект при управлении ими в сравнении с использованием традиционной топливной аппаратуры.

Работ по оптимизации частоты значительно меньше, так как такая задача возникла позже, в связи с развитием альтернативной энергетики. Из работ этого плана следует отметить работы А.А. Малоземова, В.С. Кукиса, О.А. Алешкова, А.В. Копеина. В них синтез алгоритма управления частотой в широком спектре мощностей основан на математическом моделировании рабочих процессов на нерасчетных режимах или определяется экспериментальным путем. Достоинство этих исследований в том, что они выполнены на двигателях, работающих в реальных объектах, т.е. с учетом особенностей функционирования потребителя и вспомогательных механизмов и устройств. Однако, трафик поиска оптимальной частоты достаточно сложен и требует большого объема информации по режиму работы, связь оптимизационной зависимости с принципами построения ВСХ, определяющей выбор оптимизационной частоты, не раскрывается. Для практического использования требуется более простая методика с минимумом исходной информации, основанная на поиске оптимальной частоты через исследование ХПМ, так как минимум расхода топлива есть отличительный режим этой характеристики. Недостаточно полно дается оценка вредных выбросов по характеристикам как оптимизационной по частоте, так и регулировочной по параметрам впрыска топлива.

В конце главы сформулирована цель, и поставлены задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена описанию экспериментальной установки, средств измерения и контроля, а также методики анализа индикаторного и эффективного КПД дизеля, позволяющих провести экспериментальные исследования и выполнить их анализ в соответствии с поставленными задачами исследований.

Испытания опытного одноцилиндрового отсека дизеля УК-2 размерностью 130/140 проводились в лаборатории кафедры ДВС АлтГТУ им И.И. Ползунова, а многоцилиндровых – в лабораториях СКБ ОАО «АМЗ».

На электротормозной установке с одноцилиндровым дизелем УК-2 (1ЧН 13/14) обеспечивалась имитация наддува, и осуществлялась работа с топливоподающей аппаратурой непосредственного действия типовой и опытной и аккумуляторной высокого давления (до 1800 бар) типа CR. Опытная аппаратура позволяла производить независимый впрыск двух порций топлива как по моменту начала, так и по количеству впрыскиваемого топлива за счет использования специальной форсунки с двумя каналами подвода топлива под иглу распылителя от двух насосных секций высокого давления.

Система CR имеет типовое исполнение и укомплектована в основном компонентами отечественного производителя. Электрогидравлическая форсунка, аккумулятор и топливопроводы высокого давления производства Алтайского завода прецизионных изделий (ООО «АЗПИ»). Блок управления работой дизеля выполнен фирмой «Абит» (С.-Петербург). Программа управления с ключом доступа позволяет вносить оперативные изменения в таблицы калибровок, что обеспечивает инженерное управление параметрами топливоподачи во время работы дизеля.

В основу методики исследований положен сравнительный метод. Сбор, обработка и хранение данных быстропротекающих процессов осуществляется компьютерным комплексом Н-2000.

Специальный стенд использован для выполнения работ по определению условий эффективной очистки отработавших газов каталитическим нейтрализатором конструкции СО РАН и достигаемых результатов очистки.

Обработка материалов эксперимента на анализ индикаторного и эффективного КПД дизеля выполнена по методике и программе, разработанной на кафедре ДВС АлГТУ им. И.И. Ползунова, которая позволяет дифференцировать потери и неиспользование теплоты в цикле, а также затраты индикаторной работы на преодоление механических потерь в двигателе.

**В третьей главе** проводится анализ изменения эффективного расхода топлива и коэффициента приспособляемости по совокупности ХПМ, ограничиваемых перегрузочной ветвью ВСХ, а также индикаторного и эффективного КПД, предлагается классификация ХПМ, разрабатывается методика отыскания оптимизационной зависимости  $n_{om} = f(N_{econst})$ , и осуществляется построение ХПМ.

По влиянию на величину коэффициента приспособляемости  $K_{\pi}$ , характер изменения  $\eta_e = f(n)$ , величину максимума КПД  $\eta_e$ , выбор оптимизационной функции  $n_{om} = f(N_{econst})$  выделены две зоны ХПМ с мощностью большей и меньшей  $N_{econst} = (0,75 \div 0,80) N_{eном}$ . Разделяющая их ХПМ с  $N_{econst} = (0,75 \div 0,80) N_{eном}$  отличается пологостью  $g_e = f(n)$ , высокими значениями КПД  $\eta_e$  и достижением коэффициента  $K_{\pi} = 1,4$  только корректировкой топливоподачи. В зоне высоких мощностей  $N_{econst} \geq (0,75 \div 0,80) N_{eном}$  целесообразна работа двигателя по ХПМ, в зоне малых мощностей – работа на скоростном режиме  $n_{om}$  наилучшей экономичности.

Анализом КПД по статьям неиспользования теплоты в цикле и затратам работы на преодоление механических потерь по ХПМ дизеля 4ЧН 13/14 в зоне мощностей  $N_{econst} \geq 0,80 N_{eном}$ , представленными

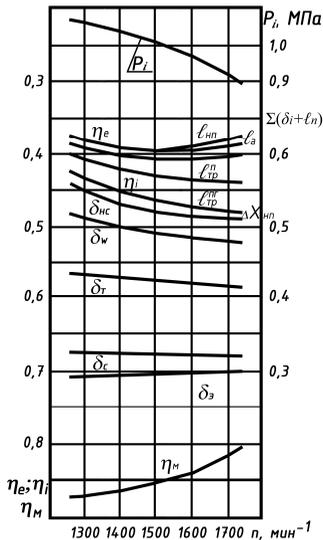


Рисунок 1 – Анализ эффективного КПД дизеля 4Ч13/14 по ХПМ

на рисунке 1, выявлены наибольшие потенциальные возможности повышения КПД уменьшением коэффициентов несвоевременности сгорания  $\delta_{нс}$ , изменения показателя адиабаты  $\delta_{\kappa} = \delta_{\tau} \delta_c$ , отвода теплоты теплообменом  $\delta_w$  и насосных потерь  $l_{ип}$ .

Из конкретных мероприятий – это оптимизация параметров впрыска топлива, охлаждение надувочного воздуха, динамический наддув и др.

Разработка методики определения оптимизационной зависимости  $n_{омп} = f(N_{econst})$  и потенциального эффекта в снижении расхода топлива основана на учете значения мощности  $N_{econst}$  и принятого условия построения ВСХ.

Если условие - получение  $N_{emax}$  для каждой частоты  $n$ , то в диапазоне  $N_{econst} \geq (1,0 \div 0,70) N_{eном}$  – это нагрузочная характеристика с  $n = n_n = const$ , для мощностей менее  $0,7 N_{eном}$  – это настроенная переменная частота  $n_{омп}$ . Если условие - максимальная экономичность, то оптимизационная характеристика есть ВСХ. Если комбинация условий (сначала по экономичности, затем по мощности), то при  $N_{econst} \geq (1,0 \div 0,70) N_{eном}$  – это ВСХ, при меньшей мощности - настройка оптимальной частоты. Настройка сводится к расчету частоты, для которой нагрузка двигателя по заданному значению  $N_{econst}$  будет составлять  $K_3 = 70 \div 80$  % от развиваемой мощности на ВСХ по выражению

$$\frac{1}{K_3} = \frac{N_{eном}}{N_{econst}} \left[ \beta \left( \frac{n}{n_n} \right)_{омп} + \delta \left( \frac{n}{n_n} \right)_{омп}^2 - \left( \frac{n}{n_n} \right)_{омп}^3 \right], \quad (1)$$

здесь  $\beta$  и  $\delta$  коэффициенты в аппроксимационной зависимости мощности от частоты для ВСХ.

Для дизеля 4ЧН 13/14 выполнено построение ХПМ с уровнями мощности номинальным и  $0,8 N_{eном}$  по методике, основанной на использовании функциональных зависимостей индикаторного КПД  $\eta_i$  и среднего давления механических потерь от коэффициента избытка воздуха (для  $\eta_i$ ), эффективного давления и частоты вращения вала. Полученные зависимости (рисунок 2) устанавливают изменения

основных факторов обеспечения работы дизеля по ХПМ: часового расхода топлива  $G_m$  и давления наддува  $P_k$ . Для обоих вариантов расчета достаточно полагая зависимость  $g_e = f(n)$  допускает возможность управления подачей топлива по ХПМ из условия постоянства часового расхода топлива.

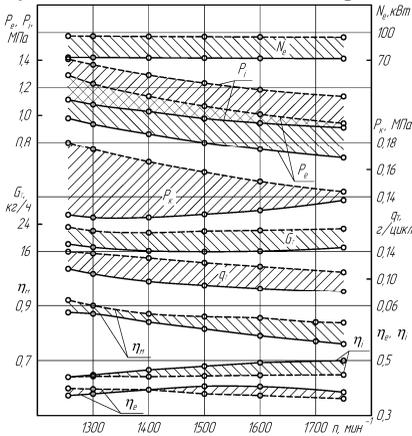


Рисунок 2 – Расчётная внешняя скоростная характеристика ДПМ 4ЧН13/14  
—  $\alpha$ -var; - -  $\alpha = 1,4$ -const

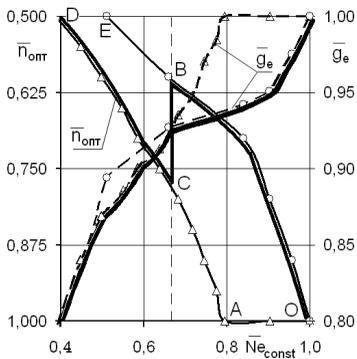


Рисунок 3 – Оптимизационная частота  $\bar{n}_{opt}$  и эффект снижения расхода топлива  $\bar{g}_e$  в зависимости от мощности  $\bar{N}_{e,const}$  для вариантов оптимизации:  
-Δ- 1 (OAD); -- 2 (OBVD); -o- BCX (OE)

отношению к расходу на нагрузочной характеристике (НХ) при  $n = n_n$  происходит во всем диапазоне уменьшения мощности и достигает 20 % при  $N_{e,const} = 0,4 N_{e,ном}$ .

В варианте  $N_{e,ном}$  необходимо обеспечить увеличение давления наддува порядка 20 % от значения  $P_k$  в номинальном режиме.

**Четвертая глава** содержит материалы экспериментальных исследований, направленные на снижение расхода топлива и вредности ОГ на режимах ХПМ. Из мероприятий рассматриваются: оптимизация частоты вращения вала, двухступенчатая подача топлива, использование системы подачи топлива типа CR и подбор нейтрализатора с приемлемой степенью очистки ОГ.

Выбор варианта оптимизационной зависимости осуществлен проведением экспериментальных исследований на дизеле 6ЧН13/14 (Д461). Результаты исследований на рисунке 3 подтверждают предпочтительность оптимизации частоты по расходу топлива по варианту ОВСД как комбинацию ВСХ (линия ОВ) при  $N_{e,const} = (1,0 \div 0,65) N_{e,ном}$  и ветви CD настройки  $n_{opt}$  по выражению (1) при  $N_{e,const} < 0,65 N_{e,ном}$  в полном соответствии с условиями построения

ВСХ этого дизеля: на высоких частотах – обеспечение экономичности, на пониженных – достижение мощности.

В этом варианте оптимизации частоты снижение расхода  $g_e$  по отношению к расходу на нагрузочной характеристике (НХ) при  $n = n_n$  происходит во всем диапазоне уменьшения мощности и достигает 20 % при  $N_{e,const} = 0,4 N_{e,ном}$ .

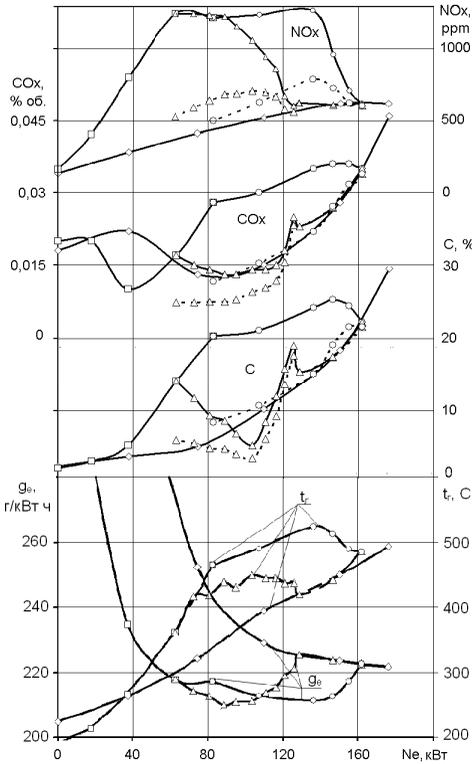


Рисунок 4 - Зависимости удельного расхода топлива, температуры газов, содержания вредных веществ в ОГ

одновременно снижается содержание сажи в ОГ на 30 % и оксидов азота на 40 %.

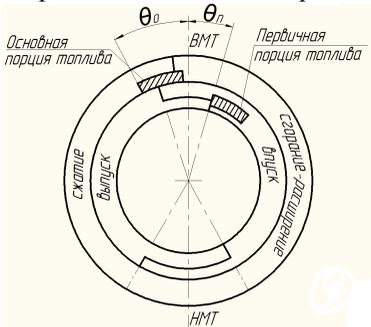


Рисунок 5 – Диаграмма фаз двойной топливopодачи

Вместе с тем, содержание оксидов азота (рисунок 4) оказывается выше на участке ОВ работы двигателя по ВСХ как по прямым измерениям, так и по приведенным к одинаковым расходам воздуха с нагрузочной характеристикой при  $n=n_n$  (на 30-40 %).

Двухступенчатая подача топлива аппаратурой непосредственного действия реализована на опытном дизеле УК-2 по схеме на рисунке 5. Предварительная или первичная порция топлива подается с момента закрытия выпускного клапана в фазе впуска, основная - перед ВМТ в фазе сжатия. Исследования (рисунок 6), проведенные по выбору оптимальной дозы первичной подачи топлива, соответствующей достижению максимума индикаторного КПД, показали наличие такой дозы, равной 10÷15 мг. При ней увеличение КПД  $\eta_i$  от исходного режима с традиционной подачей составляет 4 %. Од-

Получение такого результата ( $q_n=10-15$  мг) объяснено сопутствующими такому впрыску изменениями условий смесеобразования и сгорания основной дозы топлива и прямыми потерями первичной, связанными с ее попаданием на стенку цилиндра, что получило косвенное подтверждение через зафиксированное прокруткой двигателя уменьшение до 10 % потерь на трение.

Эффективность использования аккумуляторной системы впрыска топлива CR в сравнении со штатной выяснялась испытаниями на одноцилиндровом отсеке.

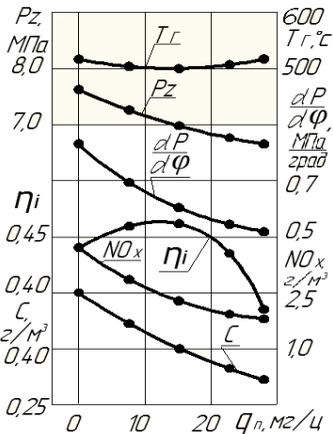
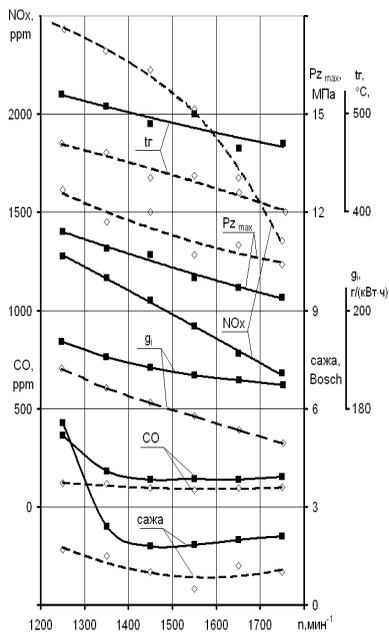


Рисунок 6 - Влияние первичной порции топлива на показатели дизеля  $n=1750 \text{ мин}^{-1}$ ;  $P_i=0,875 \text{ МПа}$

содержание оксидов азота, что согласуется с увеличением динамики цикла.



— штатная система, ---- система CR  
Рисунок 7 - Показатели работы дизеля 1С 13/14 по ХПМ

Результаты сравнительных испытаний на рисунке 7 показывают, что с системой CR при давлении впрыска  $P_{fuel} = 120 \text{ МПа}$  расход топлива снизился в среднем на 4-5 % во всем диапазоне частот ХПМ с коэффициентом приспособляемости  $K_{пр}=1,4$ . Косвенное подтверждение этому – уменьшение температуры ОГ на 50-70 °С. «Жесткость»  $(dp/dφ)_{max}$  и максимальное давление сгорания  $P_{z,max}$  возросли в среднем на 25 % и 1 МПа на пониженных частотах при одновременном сокращении задержки воспламенения примерно на 15-20 %. Существенно снизилось содержание продуктов неполного сгорания по окислам углерода (на 30-50 %) и, в особенности, по саже - в 1,5 раза на средних и высоких частотах и в несколько раз на малых. Значительно (в 1,7-2 раза) возросло

В качестве мероприятий, уменьшающих выход оксидов азота, рассматривается оптимизация регулировок по давлению  $P_{fuel}$  и углу опережения впрыска топлива. Для чего сняты соответствующие регулировочные характеристики на режимах ХПМ с  $n = 1750, 1500$  и  $1250 \text{ мин}^{-1}$  для значений давления и УОВТ в интервалах 60-160 МПа и 0-20° до ВМТ.

Типичный характер влияния давления  $P_{fuel}$  на показатели работы дизеля представлен на рисунке 8.

Существует зона давления  $P_{fuel}$ , в которой оно наиболее существенно влияет на показатели экономичности. Для данного режима это - 60÷110 МПа. Рост  $P_{fuel}$  более 110 МПа практически не изменяет КПД  $η_i$ , мало влияет на содержание CO и сажи и существенно увеличивает максимальные значения давления и температуры рабочего тела, что влияет на выход  $NO_x$ . Для их снижения в диапазоне частот (1250-1750)  $\text{мин}^{-1}$  рекомендовано линей-

ное изменение давления  $P_{fuel}$  от 100-110 МПа до 130-140 МПа и УОВТ от 8-10° до 14-16° до ВМТ. Однако, даже при настройке  $P_{fuel}$  и УОВТ на меньшие значения, не выходящие из зоны слабого влияния на КПД  $\eta_i$ , снизить содержание  $NO_x$  до уровня штатной топливной аппаратуры не удастся. Оно оказывается выше на 30 %. Для дальнейшего снижения содержания  $NO_x$  рекомендовано использование каталитического нейтрализатора окисного типа на основе платины. Такое решение предопределено высокими значениями температур ОГ при работе на режимах ХПМ и низким содержанием неполных продуктов сгорания при использовании системы СР. Специальными испытаниями нейтрализатора установлены оптимальная температура каталитического блока в 370-400 °С, достигаемый эффект снижения  $NO_x$  не менее 40 % и дополнительное снижение окиси углерода  $CO$  и углеводородов  $C_xH_y$ .

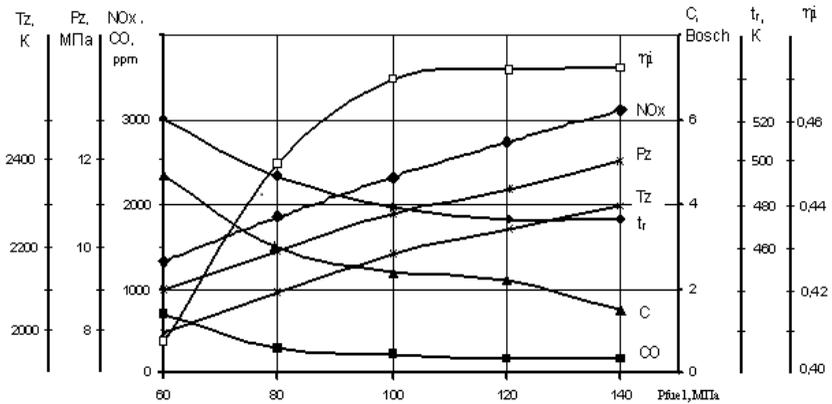


Рисунок 8 - Характеристика по давлению впрыска топлива  $P_{fuel}$  при  $n=1250 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_f=1,24 \text{ МПа}$

### Основные результаты и выводы

1 Предложена классификация ХПМ по значению мощности  $N_{econst}$  как основного фактора, определяющего величину коэффициента приспособляемости  $K_n$ , вид зависимости  $\eta_e = f(n)$  и величину КПД  $\eta_e$ , выбор оптимизационной частоты  $n_{opt} = f(N_{econst})$ . Выделены две зоны ХПМ, разделяемые ХПМ с  $N_{econst} = (0,75 \div 0,80) N_{eном}$ , отличающейся пологостью  $\eta_e = f(n)$ , высокими значениями КПД  $\eta_e$  и величиной коэффициента  $K_n = 1,4$ . Ее можно реализовать в двигателях с двумя уровнями мощности корректировкой топливоподачи.

2 Разработанная методика поиска оптимальной частоты наряду с методиками анализа индикаторного и эффективного КПД и построения ХПМ представляют методический комплекс для исследования ХПМ. Применение комплекса к исследованию дизелей ОАО «АМЗ» позволило

- выявить возможность повышения КПД мероприятиями, уменьшающими неиспользование теплоты от несвоевременности сгорания, теплообмена и уменьшения показателя адиабаты и снижающими насосные потери;
- определить алгоритм управления цикловой подачей топлива (из условия постоянства часового расхода топлива) и давлением наддува;
- предложить алгоритм зависимости  $n_{omn} = f(N_{econst})$ , согласованный с особенностями комбинационного варианта построения ВСХ.

3 Экспериментальными исследованиями дизеля 6ЧН13/14 (Д461) подтверждено прогнозируемое получение наибольшей экономии топлива при работе по предлагаемой оптимизационной зависимости  $n_{omn} = f(N_{econst})$ .

4 Реализацией и исследованиями двухступенчатой подачи топлива с первичной подачей в конце такта выпуска получено увеличение КПД  $\eta_i$  на 4 %, снижение сажи и оксидов азота на 30 % и 40 % при оптимальной первичной подаче порции в 10-15 мг. Ее величина определяется не только совокупным изменением рабочего процесса, но и прямыми потерями, связанными с попаданием топлива на стенку цилиндра.

5 Повышение давления впрыска  $P_{fuel}$  системой типа CR является эффективным средством снижения сажи и продуктов неполного сгорания (в два и более раза) при увеличении топливной экономичности до 6 %. Одновременно в 1,7-2,0 раза возрастает содержание  $NO_x$ . Предложен алгоритм оптимизации давления и УОВТ, позволяющий практически без снижения положительного эффекта воздействия на экономичность и продукты неполного сгорания существенно уменьшить содержание  $NO_x$ . Хотя, оно и остается примерно на 30 % выше, чем при штатной топливоподаче.

6 В плане поиска дополнительных мероприятий по снижению оксидов азота предварительными исследованиями каталитического нейтрализатора конструкции СО РАН установлена оптимальная температура каталитического блока в 370-400 °С с эффектом очистки от оксидов азота не менее 40 %. Температура отработавших газов на режимах ХПМ и оптимизационной равна 400-550 °С, что позволяет обеспечить работу нейтрализатора в оптимальном температурном режиме и рекомендовать его для дальнейшей доработки.

### **Основные результаты опубликованы в работах:**

#### **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Матиевский Г.Д. Двойная подача топлива в дизеле с топливной системой непосредственного действия разделённого типа /А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский //Ползуновский Вестник. – 2009.- №4. - С. 166-173.
2. Матиевский Г.Д. Анализ показателей работы дизеля по характеристике постоянной мощности /Г.Д. Матиевский, С.П. Кулманак.- Ползуновский вестник. - 2010. - № 1.- С. 13-20.

3. Матиевский Г.Д. Исследование внешней скоростной характеристики дизеля для анализа показателей работы на режимах постоянной мощности /Г.Д.Матиевский, А.Н. Любимов //Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - № 2. – 2011. – С. 260-267.

4. Матиевский Г.Д. Выбор и исследование нейтрализатора отработавших газов на эффективность очистки для дизеля, работающего на режимах постоянной мощности с системой топливоподачи CR /В.А. Синицын,С.П. Кулманак, Г.Д. Матиевский //Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. - № 2. – С. 42-48.

5. Матиевский Г.Д. /Улучшение рабочего процесса дизеля при двойной подаче топлива /Г.Д. Матиевский, А.Е. Свистула // Грузовик. – 2011. - № 5. - С.35-38. [режим доступа <http://www.mashin.Ru/zhumalap/?id=58360&idar=1062661>].

6. Матиевский Г.Д. Повышение экономичности и снижение вредных выбросов дизеля на режимах постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Ползуновский Вестник. – 2012. - №3/1. - С.113-117.

7. Матиевский Г.Д. Оптимизация скоростного режима дизеля по характеристике постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, М.Э. Брякотин // Известия МААО. – СПб. - Вып. №16. – Т. 4. - 2013. - С. 225–230.

8. Матиевский Г.Д. Построение характеристики постоянной мощности дизеля / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, М.Э. Брякотин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. - № 12 (115). – Вып. 5. – С. 51-54.

#### **публикации в других изданиях**

9. Матиевский Г.Д. Выбор оптимальных параметров топливоподающей аппаратуры двигателя постоянной мощности /А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский //Совершенствование быстроходных дизелей: межвуз. сб. / Алт. политехн. ин-т. - Барнаул, 1991. – С.58-65.

10. Матиевский Г.Д. Оптимизация параметров топливоподающей аппаратуры двигателя постоянной мощности /А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Совершенствование быстроходных дизелей: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. / АлтГТУ - Барнаул, 1993. – С. 81-82.

11. Матиевский Г.Д. Особенности проектирования топливной аппаратуры двигателя постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, Б.А. Дурдин, П.В. Жданов // Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС: матер. 3 науч.-практ. семинара. – Владимир: ВлГТУ, 1994. - С. 74.

12. Матиевский Г.Д. Расчетно-экспериментальные исследования топливной аппаратуры дизеля, работающего в режиме ДПМ / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, В.Л. Кригер // Совершенствование рабочих процессов ДВС: сб. тр. Автотракторного факультета АлтГТУ. Ч.1 /АлтГТУ.- Барнаул: Б.и., 1999.- С. 39 - 43.

13. Матиевский Г.Д. Эффективность двойной подачи топлива в дизеле / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Двигатели внутреннего сгорания (Двигуни внутрішнього згорання). – 2010. – №1. – С. 17-21.

14. Матиевский Г.Д. Повышение эффективности работы двигателя на режимах и характеристиках постоянной мощности / Г.Д. Матиевский, С.П. Кулманакон // Сборник научных трудов Международной конференции Двигатель-2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана // Под ред. Н.А. Ивашенко, В.А. Вагнера, Л.В. Грехова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - С.191-194.

15. Матиевский Г.Д. Улучшение рабочего процесса дизеля при двойной подаче топлива / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Сборник научных трудов международной конференции «Двигатель 2010», посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э.Баумана / под ред. Н.А.Ивашенко, В.А.Вагнера, Л.В.Грехова – М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2010. - С. 224-226.

16. Матиевский Г.Д. Скоростная характеристика дизеля постоянной мощности/ Г.Д. Матиевский // Научное творчество студентов и сотрудников автотранспортного факультета: статьи и тезисы докладов 68-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета / Алт. гос. техн.ун-т.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010.- С. 13-14.

17. Матиевский Г.Д. Повышение показателей рабочего процесса дизеля двойной подачей топлива / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова. Часть 1/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С.80-86.

18. Матиевский Г.Д. Скоростная характеристика дизеля в режиме постоянной мощности / Г.Д. Матиевский // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей. Часть 2 /Под ред. А.Л. Новоселова; Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010.- С. 84-89.

19. Матиевский Г.Д. Анализ и улучшение показателей работы дизеля на режимах постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // 5-е Луканинские чтения. Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе: тезисы докладов научн.-практ. конф. – М: МАДИ, 2011. – С. 21-22.

20. Матиевский Г.Д. Оптимизация скоростного режима работы дизеля / Г.Д. Матиевский // Научное творчество студентов и сотрудников факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта: тезисы и доклады 69-й науч. техн. конф. студентов, аспирантов и проф.-преп. состава технического ун-та. Часть 1 // Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. - С. 74-75.

21. Матиевский Г.Д. Исследование экономических и экологических показателей работы дизеля по характеристике постоянной мощности с топливной аппаратурой непосредственного действия и Common Rail / А.Е. Свистула, С.П. Кулма-

наков, Г.Д.Матиевский, А.В. Шашев // Обновление флота – актуальная проблема водного транспорта на современном этапе: матер. междунаро. научн.-техн. конф. - Новосибирск: изд-во НГАВТ, 2011. – С. 153-156.

22. Матиевский Г.Д. Оптимизационная скоростная характеристика двигателя / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Вестник Сибирского отделения академии военных наук. – 2011. - № 10. – С. 111-117.

23. Матиевский Г.Д. Исследование оптимизационной скоростной характеристики двигателя постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский // Двигатели внутреннего сгорания (Двигуни внутрішнього згорання). – 2011. – №2. – С. 46-49.

24. Матиевский Г.Д. Совершенствование показателей работы дизеля на режимах постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, М.Э. Брякотин // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей; под ред. д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. - С. 4-13.

25. Матиевский Г.Д. Оптимизация скоростного режима дизеля по характеристике постоянной мощности / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, М.Э. Брякотин // 6-е Луканинские чтения. Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе: тезисы докладов научн.-практ. конф. – М: МАДИ, 2013. – С. 34-35.

26. Матиевский Г.Д. Снижение вредных выбросов и расхода топлива дизеля на режимах эксплуатации / А.Е. Свистула, Г.Д. Матиевский, М.Э. Брякотин // Состояние и перспективы развития социально-культурного и технического сервиса: матер. I Всероссийской научн.-практ. конф. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – С. 216-219.

Подписано в печать 21.10.2013. Формат 60x84 1/16.

Печать – цифровая. Усл.п.л. 0,93.

Тираж 110 экз. Заказ 2013 – 438

Отпечатано в типографии АлтГТУ,

656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

тел.: (8–3852) 29–09–48

Лицензия на полиграфическую деятельность

ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.