

На правах рукописи



Яров Валерий Сергеевич

**Улучшение мощностных и экономических показателей
комбинированного дизеля путем совершенствования
газообмена за счет применения дополнительного
золотникового механизма газораспределения**

05.04.02 — Тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова» (АлтГТУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент

Балашов Андрей Алексеевич

Официальные оппоненты: :

Мироненко Игорь Геннадьевич,

доктор технических наук, доцент, начальник управления научно–исследовательских работ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Утемесов Равиль Муратович,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Общей и экспериментальной физики» ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет»

Ведущая организация: ООО «Завод инновационных продуктов

«Концерн тракторные заводы», г.Владимир

Защита состоится « 24 » апреля 2015 г. в 12-00 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 «25» февраля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент.....



...С.П.Кулманаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Улучшение процессов сгорания, газообмена и топливоподачи, а так же применение современных материалов и технологий обработки деталей двигателей, способствуют увеличению эффективного и механического КПД и, одновременно с этим, ведут к ограничению предела форсирования двигателей как по частоте вращения, так и по нагрузке. Этот предел зависит в многом от расходных характеристик газозвудушных трактов систем газообмена поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС) имеющих традиционный клапанный механизм газораспределения (МГР). С целью дальнейшего повышения пределов форсирования и снижения теплонапряженности необходимо увеличить расходные характеристики 4-тактных ПДВС как с наддувом, так и без него. Однако, осуществить это увеличение за счет традиционного клапанного МГР без его серьезной модернизации не удастся, т.к. увеличение расхода воздуха и снижение затрат энергии на процессы очистки цилиндров от отработавших газов (ОГ) требуют введения дополнительных мероприятий по увеличению каким-то способом пропускной способности газозвудушных трактов.

Одним из путей расширения пределов форсирования и снижения теплонапряженности ПДВС является совершенствование традиционного клапанного МГР с целью увеличения проходных сечений газозвудушного тракта на такте выпуска и продувки цилиндра на такте впуска, т.е. создание комбинированного МГР состоящего из традиционного клапанного и дополнительного золотникового МГР.

Дополнительный золотниковый МГР представляет из себя окно в гильзе цилиндра выполненное в близи нижней мертвой точки поршня, открытие и закрытие которого производится «золотником», т. е. поршнем.

Сложившееся рабочее название предложенного двигателя – «двигатель с окном в гильзе» сокращенно ДОГ.

Цель настоящего исследования: повысить мощностные и экономические показатели 4–тактного комбинированного ПДВС путем совершенствования газообмена с помощью применения дополнительного золотникового МГР.

Гипотеза исследования. Применение дополнительного золотникового канала выпуска ОГ позволит снизить насосные потери и теплонапряженность выпускной системы, тем самым форсировать дизель по мощности и повысить экономичность.

Для достижения указанной цели на основании выдвинутой гипотезы необходимо решить следующие **задачи**:

– проанализировать влияние конструктивных и режимных факторов на расходные характеристики основных элементов клапанных систем газообменомбинированных ПДВС и подтвердить работоспособность, выявить целе-

сообразность и показать возможность создания нетрадиционного клапанно-золотникового варианта МГР;

– разработать математическую модель двойного выпуска ОГ комбинированного дизеля в варианте ДОГ, выполнить численное исследование возможных вариантов изменения проходных сечений и фаз газораспределения клапанно–золотникового МГР;

– разработать конструкции и создать экспериментальный комбинированный дизель с нетрадиционным клапанно-золотниковым МГР и моторную испытательную установку для него, а также безмоторный стенд для статической продувки воздухом клапанного и золотникового каналов выпуска ОГ, для определения по результатам продувки экспериментальных коэффициентов, по разработанной уточненной методике с использованием физически более обоснованных зависимостей, с целью применения их в математической модели;

– провести сравнительные испытания на моторной установке 4–тактного экспериментального комбинированного дизеля воздушного охлаждения 4ЧН10,5/12 оборудованного по варианту ДОГ, в серийной и клапанно-золотниковой комплектациях МГР, со снятием скоростных и нагрузочных характеристик, для доказательства преимуществ двигателя с двойной системой выпуска ОГ.

Объектом исследования служат процессы выпуска ОГ в каналах клапанно–золотниковой системы МГР дизеля.

Предметом исследования явились закономерности изменения расходных характеристик газоздушных трактов системы газообмена комбинированного дизеля 4ЧН10,5/12 переоборудованного по варианту ДОГ.

Методы исследований и достоверность результатов. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретическая основа работы базировалась на использовании основных положений технической термодинамики открытых термогазодинамических систем. Расчеты процессов очистки цилиндров выполнялись посредством численного моделирования в подкритическом режиме истечения ОГ. Сравнительные испытания проводились на экспериментальном комбинированном дизеле 4ЧН10,5/12 оборудованном по варианту ДОГ с использованием апробированных методов, оттарированного и поверенного оборудования.

Научная новизна и теоретическая значимость работы заключается в следующих положениях и результатах, выносимых автором на защиту:

- экспериментально– теоретическом обосновании эффективности применения клапанно-золотниковой системы МГР у комбинированных ПДВС;
- разработке математической модели процесса выпуска комбинированного дизеля клапанно– золотниковым МГР, позволившей с помощью численного исследования показать возможность форсирования ПДВС по мощности и теплонапряженности;

- результатах численного исследования процессов выпуска ОГ с учетом подкритического режима истечения газа как в клапанной, так и в золотниково-вой системах МГР, в связи с невозможностью достичь критического режима истечения из-за влияния на поток газодинамических сопротивлений в каналах;

- результаты статической продувки основного и дополнительного выпускных каналов МГР, получены с помощью разработанной для этих целей уточненной методики обработки данных продувки с использованием физически более обоснованных зависимостей;

Практическую значимость работы составляют следующие результаты:

- подтверждена возможность реализации 4–тактного комбинированного цикла ПДВС с двойным выпуском ОГ, за счет применения клапанно– золотникового МГР;

- разработана математическая модель позволяющая определить оптимальные фазы газораспределения дополнительного выпуска ОГ и оптимальные проходные сечения окон в цилиндре золотникового МГР;

- получены экспериментальные данные при сравнительных испытаниях дизеля с клапанно– золотниковым и традиционным клапанным МГР, которые показали у дизеля в варианте ДОГ увеличение мощности на 8% и снижение температуры ОГ на 40÷80°С, а также подтверждена его работоспособность, показана целесообразность и обоснована возможность повышения мощностных и экономических показателей комбинированного двигателя оборудованного системой ДОГ за счет снижения насосных потерь и температуры ОГ в процессе выпуска;

- полученные результаты исследования системы двойного выпуска ОГ комбинированного дизеля на моторном стенде в варианте ДОГ, показали увеличение мощности, снижение насосных потерь и температуры ОГ.

Реализация результатов работы. *Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы (ФЦП) «Научные и научно–педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

Результаты работы переданы для использования на ВМТЗ г. Владимир, на ПО «АМЗ» г. Барнаул и ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на: заседаниях кафедры 2010÷2013гг.; на 70,71 и 72–ой научно–технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско–преподавательского состава технического университета им. И.И. Ползунова (Барнаул, АлтГТУ, 2011÷2013 гг.); на научно-практической конференции с международным участием "XLI неделя науки СПбГПУ (Санкт-Петербург, 2012 г.); на международной научно-технической конференции "6-е Луканин-

ские чтения. Решение энерго– экологических проблем в автотранспортном комплексе" (Москва, МАДИ, 2013 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 10 работах: 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК; 3 - в материалах международных и всероссийских конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованной литературы (167 источников) и приложения, содержит 150 страниц, включая 2 таблицы и 37 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, глубина и степень ее разработанности, научная новизна и практическая значимость, дается краткое описание выполненных исследований, приводятся методология и методы исследования, апробация результатов и основные положения, выносимые автором на защиту, сформулированы цель и задачи.

В первом разделе проведен обзор и анализ факторов, влияющих на расходные характеристики клапанных систем газообмена 4-тактных ПДВС, рассматриваются методы их исследования и совершенствования.

В этом разделе рассматриваются возможности улучшения расходных характеристик газоздушных трактов клапанных систем газообмена 4–тактных ПДВС за счет совершенствования геометрических, газодинамических, насосных и режимных факторов, а также выполнен анализ методов совершенствования, определения и исследования расходных характеристик. Примерами такого рода исследований является разработка различных схем 4-тактных ПДВС Е.Г. Бартошем, В.Г. Дьяченко, Г.В. Зенкевичем, А.С. Нестаховым и др.

Кроме этого обсуждается и обосновывается целесообразность и возможность применения и использования дополнительного золотникового МГР комбинированного 4–тактного ПДВС. Такое техническое решение известно, авторы Жмудяк Л.М., Геркт Э. Кюртиль Р. и др., в т.ч. и защищенное патентом на полезную модель автором настоящей работы [10]. В заключение первого раздела сформулированы цель и задачи исследования.

Второй раздел посвящен разработке математической модели двойного выпуска ОГ 4–тактного комбинированного ПДВС с клапанно–золотниковым МГР (вариант ДОГ), с целью прогнозирования возможности повышения мощностных и экономических показателей.

Применение дополнительного золотникового МГР, т.е. окон в гильзе цилиндра, позволяет повысить мощность и эффективный КПД 4–тактного ПДВС, в основном за счет снижения затрат энергии на процессы выпуска. Поэтому приведенная ниже математическая модель предназначена как для чис-

ленного исследования эффективности применения ДОГ, так и оптимизации фаз газораспределения для дополнительных окон в гильзе цилиндров.

Кроме этого необходимо отметить участок перекрытия клапанов, где процессы впуска свежего заряда воздуха и выпуска ОГ объединены в цикле и имеют взаимосвязанный характер. Поэтому, имея ввиду незначительное влияние участка перекрытия клапанов на параметры газообмена 4–тактных ПДВС, и принимая во внимание возрастающую математическую сложность, этот участок в дальнейшем не рассматривается.

Для создаваемой математической модели выпуска у ДОГ в качестве базовой была принята математическая модель процесса выпуска разработанная В.Г.Дьяченко. Эта математическая модель может быть применена как самостоятельно, а также как составная часть других математических моделей охватывающих рабочий цикл 4–тактных ПДВС.

Математическая модель процессов в надпоршневой полости на участке выпуска ОГ в общем случае включает в себя систему дифференциальных уравнений нестационарных процессов массообмена и теплообмена, систему дифференциальных уравнений неустановившихся процессов в выпускном канале и систему граничных условий (течение газа через клапаны):

$$dM = dM_s - dM_g; \text{—уравнение массообмена}$$

$$dQ = dI - Vdp; \text{—уравнение первого закона термодинамики для потока}$$

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV_n - dV_x}{V} - \frac{dT}{T} = \frac{dM}{M}. \text{—уравнение неразрывности}$$

Конечной целью математической модели выпуска ОГ в ДОГ является определение потери энергии на удаление продуктов сгорания из цилиндра и сравнения полученных данных с результатами моделирования процесса выпуска ОГ в ПДВС с клапанным МГР, а также для оценки эффективности применения ДОГ с клапанно–золотниковым МГР.

Численное исследование истечения в выпускных системах ПДВС проводится только в подкритическом режиме, т.к. в настоящее время доказано, что критического режима в выпускных каналах 4–тактных ПДВС не достигается из–за их высоких газодинамических сопротивлений.

В основу математической модели положены ранее полученные зависимости в результате термогазодинамического анализа адиабатного процесса расширения рабочего тела, и на их же базе создана методика обработки результатов статической продувки с физически более обоснованными зависимостями приведенными в третьем разделе автореферата (1, 2, 4, 6, 7, 8).

Численное исследование проводилось по двум направлениям:

- изменение эффективного проходного сечения окон в гильзах цилиндров клапанно–золотниковой системы МГР;
- изменение фаз открытия и закрытия окон поршнем в гильзах цилиндров клапанно–золотниковой системы МГР.

Исходными данными послужили параметры, полученные на основании данных серийных двигателей предоставленных КБ завода ВМТЗ, такие как давление и температура отработавших газов, фазы газораспределения и т.д. Кроме этого, для проведения численного исследования, были определены на экспериментальном цилиндре (рисунки 3, 4), с помощью статической продувки, коэффициенты расхода μ , газодинамических потерь ξ и изменение энтропии ΔS как для клапанной, так и золотниковой систем выпуска (рисунок 7). Численное исследование проведенное на математической модели показало возможность увеличения эффективной мощности комбинированного дизеля оборудованного клапанно-золотниковым МГР (вариант ДОГ) по сравнению с комбинированным дизелем с клапанном МГР до 19÷20%.

Третий раздел посвящен разработке экспериментального образца дизеля с дополнительной золотниковой системой МГР на базе дизеля воздушного охлаждения 4С10,5/12 (Д-144) и определению эффективных проходных сечений μf клапанного и золотникового выпускных каналов с помощью статической продувки по созданной уточненной методике обработки ее результатов.

Для расширения пределов форсирования и снижения теплонапряженности ПДВС необходимо модернизировать традиционный

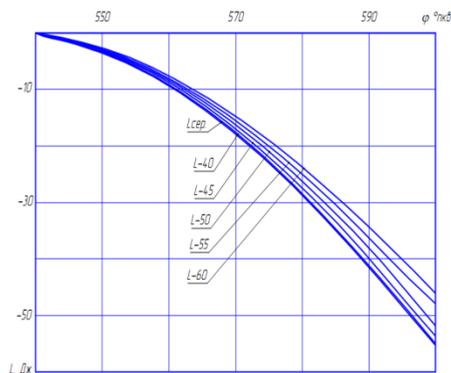


Рисунок 1 – Изменение работы выталкивания при различных фазах открытия и закрытия окон

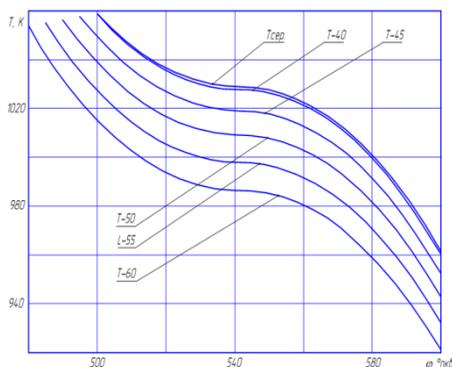


Рисунок 2 – Изменение температуры в цилиндре при различных фазах открытия и закрытия окон

МГР, с целью увеличения проходных сечений газового тракта на такте выпуска и организации продувки цилиндра на такте впуска, т.е. создать нетрадиционный МГР состоящий из традиционного клапанного и дополнительного золотникового МГР или обобщенное название «клапанно – золотниковый» МГР.

Выпуск отработавших газов в нетрадиционном МГР производится как через выпускной клапан, так и через окно в гильзе цилиндра, а на такте впуска осуществляется продувка цилиндра через впускной клапан.

С помощью ДОГ делается попытка к изысканию, при условии что давле-

ние во впускном коллекторе P_k , будет выше чем давление в выпускном коллекторе P_t , наиболее эффективных путей решения проблем связанных с повышением КПД, мощности двигателей и снижению теплонапряженности. Ряд полезных качеств ДОГ связан еще и с тем, что на пусковом режиме и режимах малых нагрузок, т.е. в период открытия окон и перетекания горячего газа в цилиндр, повышается температура свежего заряда и облегчается запуск дизеля, атакже его работа на холостом ходу и малых нагрузках. В связи с этим можно определить наиболее предпочтительные режимы работы дизеля в варианте ДОГ– это его работа на холостом ходу, малых нагрузках и на номинальном режиме. Поэтому на средних режимах можно ввести регулирование, т. е. установить заслонку на золотниковый канал (Патент RU №113540 U1).

При создании ДОГ на цилиндр устанавливается и приваривается нижняя накладка. На неё через жаростойкую прокладку устанавливается верхняя накладка с шатровым патрубком (рисунок 3).

Выпускной коллектор дизеля 4Ч10,5/12 с двойным выпуском ОГ, состоит из серийного выпускного коллектора с врезанными в него патрубками дополнительного выпуска ОГ от каждого цилиндра в отдельности (рисунок 5).

При проведении численных исследований по варианту ДОГ дизеля 4Ч10,5/12 в клапанном и клапанно-золотниковом исполнениях МГР, необходимо иметь базовые экспериментально полученные коэффициенты. Для определения которых необходимо выполнить статическую продувку воздухом как основной, так и дополнительной – золотниковой систем выпуска (рисунок 4).

При численном исследовании процесса очистки цилиндра от ОГ и при статической продувки можно воспользоваться термодинамическим анализом изменения параметров рабочего тела в адиабатном и политропном потоках выполненным Балашовым А.А., с целью получения уточненных физически более обоснованных зависимостей для дальнейшего использования их как при математическом моделировании, так и при обработке результатов статических продувок.

В связи с этим необходимо решить две системы общеизвестных уравнений, содержащих по два уравнения в адиабатной и изоэнтروпной постановках.

Решая адиабатную систему, с учётом равенства $T^* = const$ по потоку, в конечном итоге будем иметь:

$$\frac{p_2}{p_2^*} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{\xi+1}} = \left(\frac{p_2^*}{p_1} \right)^{\frac{1}{\xi}}, \text{ откуда } \xi = \frac{\ln p_1^*/p_2^*}{\ln p_2^*/p_2}, \quad (1)$$

где ξ –коэффициент газодинамических потерь.

Решая изоэнтропную систему, при тех же условиях получим:

$$T_2/T_T = \left(p_1^*/p_2^* \cdot p_2/p_T \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}, \quad (2)$$

Развитие термодинамического процесса принято характеризовать изменением энтропии ΔS

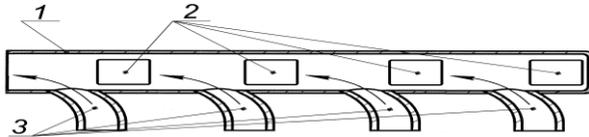
$$dS = \frac{\delta Q}{T}, \quad (3)$$



Рисунок 3 – Шатровый патрубок в сборе



Рисунок 4– Экспериментальный цилиндр в сборе



1– выпускной коллектор; 2 – выпускные каналы основного выпуска ОГ;
3 – патрубки дополнительной системы выпуска ОГ

Рисунок 5 – Схема выпускного коллектора двойной системы выпуска ОГ

где $\delta Q_T = c_p dT_T$ – элементарное количество теплоты в адиабатном процессе.

Подставив δQ_T в выражение (3) и проинтегрировав его получим

$$S_2 - S_1 = \Delta S = c_p * \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (4)$$

С учетом зависимости (2) выражение (4) примет вид:

$$\Delta S = c_p * \ln \left(\frac{P_1^*}{P_2^*} * \frac{P_2}{P_T} \right)^{\frac{k-1}{k}} = R * \left(\ln \frac{P_1^*}{P_2^*} + \ln \frac{P_2}{P_T} \right) \quad (5)$$

или преобразовав его получим: $\Delta S = c_p * \ln \left[\frac{2}{2 - \xi * M^2 * (k-1)} \right] \quad (6)$

где M – число Маха.

При определении расходных характеристик широко используется коэффициент расхода μ

$$\mu = \varphi \cdot \sigma \cdot e^{\frac{\Delta S}{\kappa \cdot R}}, \quad (7)$$

где σ – коэффициент восстановления полного давления $\sigma = P_2^* / P_1^*$.

Действительная скорость истечения в выходном сечении адиабатного потока определится как

$$W_{\partial} = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT^* \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1^*} \right)^{\frac{k-1}{k(\xi+1)}} \right]} = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT^* \frac{e^{\frac{\Delta S}{c_p}} - 1}{(\xi-1)e^{\frac{\Delta S}{c_p}} - 1}} \quad (8)$$

На базе этих выражений создана уточненная, с физически более обоснованными зависимостями, методика обработки данных статической продувки, которая в большей степени учитывает влияние газодинамических сопротивлений на параметры потока.

В результате проделанной работы можно сказать следующее:

- по результатам обработки данных статической продувки выпускного канала с клапаном построены графики изменения теоретического проходного сечения $F_{кл}$, эффективного проходного сечения $\mu F_{кл}$ и изменения энтропии ΔS , а также определены коэффициенты расхода μ , газодинамических потерь ξ , число Маха M и построены графики их изменения;

- проведена статическая продувка воздухом дополнительного продувочно-выпускного канала золотникового МГР по результатам обработки данных которой построены графики изменения теоретического проходного сечения $F_{доп}$, эффективного проходного сечения $\mu F_{доп}$ и изменения энтропии ΔS , а также определены коэффициенты расхода μ , газодинамических потерь ξ , числа Маха M и построены графики их изменения (рисунки 6 и 7);

- проведена статическая продувка воздухом комбинированной продувочно-выпускной системы МГР по результатам обработки данных которой построены графики изменения проходных и эффективных проходных сечений для системы ДОГ (рисунок 6).

По результатам проведенной статической продувки можно сказать, что у дополнительной продувочно-выпускной системы МГР ДОГ увеличилось суммарное эффективное проходное сечение μF_{Σ} на 16% от $\mu F_{кл}$, при продолжительности открытия окон в гильзе цилиндра равном $\varphi=80^\circ$ по углу п.к.в., но имеет высокие газодинамические потери величина которых зависит от доводочных работ с целью их снижения.

В четвертом разделе представлены экспериментальные исследования проведенные на моторной установке с 4–тактным дизелем 4Ч10,5/12 воздушного охлаждения оборудованном по варианту ДОГ. Она состоит из двигателя 4Ч10,5/12 оборудованного системой дополнительного выпуска ОГ и продувки цилиндра, а также стенда представляющего собой комплекс испытательного оборудования. Установка в своем составе имеет: системы смазки, охлаждения, топливоподачи, воздухоснабжения, запуска, прокрутки, торможения и наддува от приводного нагнетателя.

При модернизации дизеля с клапанным МГР в каждом цилиндре было прорезано по два окна, это говорит о необходимости дефорсирования дизеля в экспериментальном варианте ДОГ по мощности на 30÷35%.

С целью проведения сравнительного анализа и выявления преимуществ комбинированных двигателей в варианте ДОГ по сравнению с клапанными образцами были сняты следующие характеристики как с наддувом от автономного источника сжатого воздуха 4ЧН10,5/12, так и в атмосферном исполнении 4Ч10,5/12: сравнительные характеристики условных механических

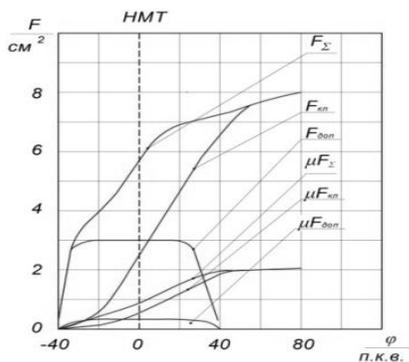


Рисунок 6 – Изменение проходных и эффективных проходных сечений для системы ДОГ по углу п.к.в.

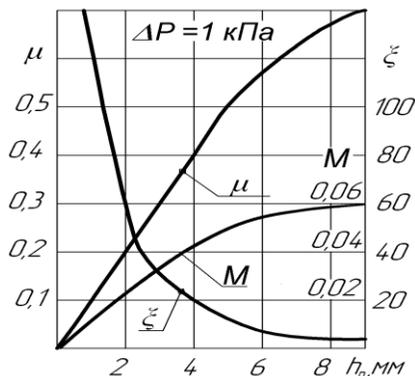


Рисунок 7 – Изменение коэффициентов μ , ξ и числа M золотникового МГР по ходу поршня h_p

потерь двигателя 4Ч10,5/12 в клапанном исполнении и в комплектации ДОГ; сравнительные нагрузочные характеристики атмосферного и комбинированного дизеля при частоте вращения $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ в клапанном исполнении и в комплектации ДОГ; сравнительные внешние скоростные характеристики с регуляторной ветвью атмосферного и комбинированного дизеля в клапанном исполнении и комплектации ДОГ.

При сравнении атмосферного дизеля 4Ч10,5/12 в клапанной и ДОГ комплектациях по мощностным, экономическим и относительным показателям, можно отметить, что каких-то серьезных преимуществ, двигатель оборудованный дополнительным золотниковым МГР перед двигателям с клапанным МГР, не имеет, как по нагрузочной характеристике снятой на номинальном режиме при частоте вращения $n=1500 \text{ мин}^{-1}$, так и по внешней скоростной характеристике (рисунок 8). Увеличение мощности и среднего эффективного давления составляет у ДОГ по сравнению с клапанным двигателем (безокон в гильзах) не более $1 \div 2\%$.

Другая картина проявляется при наддуве двигателя 4Ч10,5/12 от автономного источника сжатого воздуха. В этом случае раскрываются преимущества двойного выпуска отработавших газов (рисунок 9).

При давлении наддува $P_k = \text{idem}$ равного для варианта ДОГ произошло увеличение мощности по внешней скоростной характеристике на 8% во всем диапазоне частоты вращения от 1200 до 1500 мин^{-1} (рисунок 9). Такое увеличение мощности говорит о том, что суммарных проходных сечений для выпуска ОГ экспериментального ДОГ (выпускной клапан + окна в гильзе цилиндра) оказалось недостаточно для более интенсивного снижения давления в период предварения их открытия, т.е. к приходу поршня в НМТ. В связи с этим затраты мощности на принудительное выталкивание ОГ будут выше, чем могли бы быть при более интенсивном снижении давления и увеличении расхода ОГ в период открытия суммарных проходных сечений на выпуске.

Увеличить интенсивность снижения ОГ в ДОГ призвана дополнительная золотниковая система МГР, которая характеризуется фазами газораспределения и эффективным проходным сечением этой системы выпуска ОГ. Уменьшение фазы предварения открытия окон выпускной системы ОГ ведет к увеличению работы расширения, а увеличение эффективного проходного сечения способствует росту интенсивности снижения давления к приходу поршня в НМТ и, соответственно, к снижению затрат мощности на процесс выталкивания ОГ. Поэтому профилированию золотникового МГР должно быть уделено серьезное внимание для получения максимальной дополнительной мощности.

Удельный эффективный расход топлива g_e на 4 ÷ 5 % ниже у двигателя с двойным выпуском ОГ, что тоже нужно отнести к преимуществам этого способа очистки цилиндров от ОГ (рисунки 9).

Как один из основных положительных факторов следует отметить серьезное снижение температуры выпускных газов в диапазоне 40÷80 °С из-за продувки цилиндров за счет наддува в конце процесса наполнения в связи с появлением избыточного давления в цилиндре, превышающего давление в выпускном коллекторе.

По нагрузочной характеристике атмосферного дизеля снятой при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ удельный эффективный расход топлива g_e , коэффициенты избытка воздуха α и наполнения η_v , а также температура ОГ t_f практически идентичны как у ДОГ, так и у дизеля с клапанным МГР (рисунок 8).

Мощность комбинированного дизеля 4ЧН10,5/12 по скоростной характеристике возросла с $N_e=30,8 \text{ кВт}$ до $N_e=33,5 \text{ кВт}$ на номинальном режиме при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$, что составляет 8% (рисунок 9). Такое увеличение мощности комбинированного ДОГ получено за счет снижения мощности насосных потерь в процессе очистки цилиндра от ОГ, а также за счет увеличения работы расширения из-за сужения фаз газораспределения. Следует отметить, как один из положительных факторов, что потребляемая электрическая мощность для запуска опытного дизеля 4Ч10,5/12 в комплектации ДОГ по сравнению с клапанным вариантом на 28÷30% ниже.

Дальнейшее направление исследования заключается в разработке как математической модели 4-тактного цикла ДОГ, так и литых гильз цилиндров

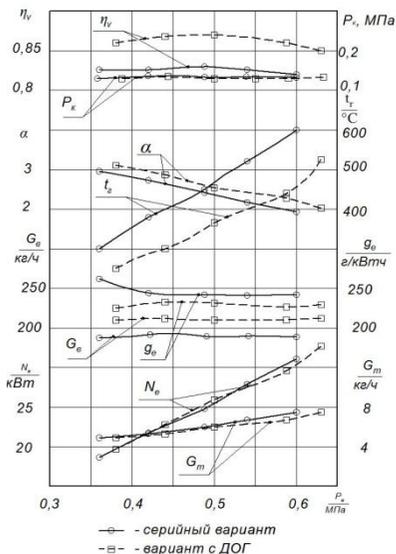


Рисунок8 -Нагрузочная характеристика атмосферного дизеля 4Ч10,5/12 в клапанном и ДОГ вариантах при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$.

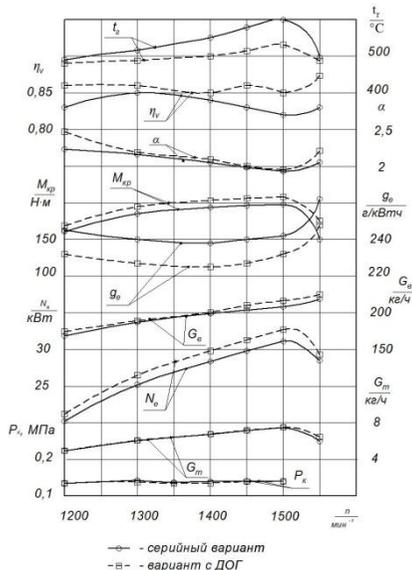


Рисунок9-Скоростная характеристика комбинированного дизеля 4ЧН10,5/12 в клапанном и клапанно– золотниковом вариантах.

золотникового МГР с жидкостным и воздушным охлаждением, а также обработке газодинамического качества золотниковой системы выпуска ОГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплекс исследований на комбинированном экспериментальном дизеле 4ЧН10,5/12 оборудованном по варианту ДОГ показал основные результаты работы, которые состоят в следующем:

- проанализировано влияние конструктивных и режимных факторов на расходные характеристики основных элементов систем газообмена 4-тактного комбинированного ПДВС с клапанном МГР, подтверждена работоспособность, выявлена целесообразность и показана возможность создания нетрадиционного клапанно-золотникового варианта МГР;

- разработана математическая модель двойного выпуска ОГ комбинированного дизеля 4ЧН10,5/12 в варианте ДОГ, проведено численное исследование возможных вариантов изменения мощности, проходных сечений и фаз газораспределения, в результате которого показано, что увеличение эффективной мощности двигателя с клапанно-золотниковым МГР по сравнению с клапанном вариантом возможно до 19÷20%;

— разработаны конструкции и созданы экспериментальный комбинированный двигатель 4ЧН10,5/12 на базе дизеля ВМТЗ с клапанно-золотниковым МГР и моторная испытательная установка для него, а также безмоторный стенд для статической продувки воздухом клапанного и золотникового каналов выпуска ОГ, по результатам продувки и обработки данных которых по разработанной уточненной методике, определены необходимые для математической модели коэффициенты. Результаты продувки показали, что среднее эффективное проходное сечение дополнительного окна $\mu F_{\text{доп}}$ составляет 16% от $\mu F_{\text{кл}}$, а суммарное среднее эффективное проходное сечение $\mu F_{\Sigma}=1,16 \cdot \mu F_{\text{кл}}$;

— проведены сравнительные стендовые испытания дизеля 4ЧН10,5/12 (4Ч10,5/12) в серийном исполнении и с дополнительным золотниковым МГР в атмосферном и комбинированном вариантах, со снятием скоростных и нагрузочных характеристик. Результаты стендовых испытаний показали ряд преимуществ применения дизеля в варианте ДОГ:

- ДОГ без наддува нельзя считать перспективными, т.к. увеличение мощностных и экономических показателей не превышает 1 – 2 %;
- увеличение эффективной мощности на 8 %;
- снижение температуры отработавших газов (в среднем) на $40 \div 80$ °С;
- снижение эффективного удельного расхода топлива на $4 \div 5$ %;
- снижение затрат пусковой мощности на $28 \div 30$ %;

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы (ФЦП) «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

а) научные статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ:

1. Яров В.С. Определение расходных характеристик газового тракта дизеля с двойной системой выпуска отработавших газов /Балашов А.А., Свистула А.Е., Пыжанкин Г.В.,Яров В.С.// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. - №2. – С. 227-232.

2. Яров С.В. Разработка экспериментальной методики статической продувки системы газообмена двигателя с двойным выпуском отработавших газов /Балашов А.А., Свистула А.Е., Яров С.В.// Вестник академии военных наук. – М., 2011. – №2 (35).– С. 22-26.

3. Яров С.В. Разработка экспериментальной системы дополнительного выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания / Свистула А.Е., Балашов А.А.,Яров С.В.// Вестник академии военных наук. – М., 2011. – №2 (35).– С. 278-284.

4. Яров С.В. Результаты исследования двигателя с двойной системой выпуска отработавших газов / Свистула А.Е., Балашов А.А., Сиротенко Д.В.,

Шифров Е.В., Яров С.В.// Вестник академии военных наук. – М., 2012. – №3 (40).– С. 135-143.

5. Яров В.С. Результаты экспериментального определения пропускной способности газового тракта дизеля с двойной системой выпуска отработавших газов/ Балашов А.А., Свистула А.Е., Яров В.С.// Известия Волгоградского государственного технического университета: меж-вуз. сб. науч. ст. № 12(99) - С.48-51.

6. Яров В.С. Определение проходных сечений системы газообмена дизеля Д-144, оборудованного дополнительным золотниковым механизмом газораспределения/ Балашов А.А., Сиротенко Д.В. Яров В.С.// Ползуновский вестник №4/3 – С.86-90.

б) статьи и материалы конференций в зарубежных изданиях:

7. Яров В.С. Исследование двигателя с дополнительным выпуском отработавших газов через окно в цилиндре / Свистула А.Е., Балашов А.А., Яров В.С.// Двигатели внутреннего сгорания.- Научно-технический журнал. Харьков: НТУ“ХПИ”. – 2012. – №2. с.29-33.

в) материалы конференций:

8. Яров В.С. Исследование расходных характеристик газового тракта дизеля с двойной системой выпуска отработавших газов / Свистула А.Е., Балашов А.А., Сиротенко Д.В., Яров В.С.// 6-е Луканинские чтения. Решение энерго-экологических проблем в автотранспортном комплексе. Международная научно-техническая конференция.- М., из-во МАДИ 2013, - С35-37.

9. Яров В.С. Результаты экспериментального определения пропускной способности газового тракта дизеля с двойной системой выпуска отработавших газов / Свистула А.Е., Балашов А.А., Яров В.С., Сиротенко Д.В.// XLI Неделя науки СПбГПУ: программа научно-практической конференции с международным участием. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 20-21.

г) патенты:

10. Патент на полезную модель №113540 Российская Федерация, МПК F 02D 9/14, F 02D 37/00. Двигатель внутреннего сгорания/ А.Е. Свистула, М.И. Мыслик, В.С. Яров; заявитель и патентообладатель АлтГТУ - №2011126398/06 (039061); заявл. 27.06.2011; опубл. 20.02.12, бюл. №5.