

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОХОДНЫХ СЕЧЕНИЙ СИСТЕМЫ ГАЗООБМЕНА ДИЗЕЛЯ Д-144, ОБОРУДОВАННОГО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЗОЛОТНИКОВЫМ МЕХАНИЗМОМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

А.А.Балашов, Д.В. Сиротенко, В.С.Яров

Приведена одна из фотографий 3D модели, выполненная с целью визуализации потока воздуха по газозоообменным трактам двигателя, оборудованного системой двойного выпуска отработавших газов (ОГ). Показана динамика изменения теоретических и эффективных проходных сечений основной и дополнительной систем выпуска, полученных с помощью статической продувки. Представленные результаты могут быть использованы при расчете процессов газообмена двигателя с системой двойного выпуска ОГ.

Ключевые слова: дизель, газораспределение, газозоообменные тракты, отработавшие газы, система двойного выпуска.

Введение

Увеличение мощности и экономичности и улучшение экологических характеристик поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) ограничивается, как правило, теплонапряженностью деталей кривошипно-шатунного механизма и колеса турбины турбокомпрессора. Улучшение процессов сгорания, газообмена и топливоподачи, а также применение современных материалов и технологий обработки деталей двигателей, приводит к увеличению эффективного и механического КПД и, одновременно с этим, ограничивает предел форсирования двигателей как по частоте вращения, так и по нагрузке.

Прежде всего, этот предел зависит от расходных характеристик газозоообменных трактов систем газообмена ДВС, на которые оказывают влияние габариты и количество клапанов на цилиндр, качество профилирования впускных и выпускных каналов с клапанами, а также впускных и выпускных коллекторов.

Таким образом, газообмен в 4-тактных ДВС как с наддувом, так и без него, осуществляется за счет традиционного клапанного механизма газораспределения (МГР), от которого в значительной степени зависят расходные характеристики, теплонапряженность и пределы форсирования двигателей в целом.

Для повышения пределов форсировки и снижения теплонапряженности ДВС необходимо модернизировать традиционный МГР, с целью увеличения проходных сечений газового тракта на такте выпуска и организации продувки цилиндра на такте впуска.

Техническое предложение и его реализация

Предлагается создать нетрадиционный МГР состоящий из традиционного клапанного и дополнительного золотникового МГР.

Дополнительный золотниковый МГР представляет из себя окно в гильзе цилиндра выполненное вблизи нижней мертвой точки поршня, открытие и закрытие которого производится «золотником», т. е. поршнем. Выпуск отработавших газов в общий выпускной коллектор на такте выпуска 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 и тоже окно в гильзе при условии, что давление во впускном коллекторе P_k будет выше, чем давление в выпускном коллекторе P_r .

Это техническое решение защищено патентом, автором которого является Л.М. Жмудяк [1]. Сложившиеся рабочие названия предложенного двигателя: «двигатель с двойным выпуском отработавших газов» или «двигатель с дополнительным окном в гильзе (двигатель с ДОГ)» или просто «двигатель с окном в гильзе» сокращенно – ДОГ.

Предложенное в четырёхтактном двигателе сочетание выпускных органов в головке и выпускных окон в гильзе цилиндра напоминает гибрид органов газообмена с клапанно-золотниковым механизмом газораспределения, с помощью которого делается попытка к изысканию наиболее эффективных путей решения проблем связанных с повышением КПД, мощности двигателей и снижением теплонапряженности. Примерами таких исследова-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОХОДНЫХ СЕЧЕНИЙ СИСТЕМЫ ГАЗООБМЕНА ДИЗЕЛЯ Д-144, ОБОРУДОВАННОГО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЗОЛОТНИКОВЫМ МЕХАНИЗМОМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

дований является разработка различных схем двигателей внутреннего сгорания Г.В. Зенкевича [2], Е.Г. Бартоша и А.С. Нестахова [3]. По представленным в этих работах схемам, выпуск осуществляется через клапаны и окна в гильзе, в них же предложено направлять отработавшие газы в турбину турбокомпрессора [2] или силовую турбину [3], но в этих схемах окна в гильзе закрываются клапанами.

Так же нужно отметить нестандартную схему газообмена, в соответствии с которой продукты сгорания удаляются в выпускные трубопроводы, давление в которых существенно различается (раздельный выпуск). Например: один выпускной трубопровод соединяет цилиндр с турбиной турбокомпрессора, и в этом трубопроводе давление выше атмосферного, а другой выпускной трубопровод соединяет тот же цилиндр с атмосферой, естественно, давление в этом трубопроводе близко к атмосферному. Варианты раздельного выпуска включают выпуск через окно в гильзе (М.Г. Маханько [5], В.Г. Дьяченко и Г.В. Зенкевич [6]). Во всех таких схемах систем газообмена двигателей золотник [6] или клапан закрывает окно в гильзе цилиндра на тактах впуска-сжатия.

Перечисленные в работе [5] и других подобных разработках механизмы закрывающие окна в гильзах цилиндров на тактах впуска-сжатия не нашли применения из-за их сложности. Однако проблема работоспособности окон решается, как уже упоминалось, в патенте Л.М. Жмудяка, а также в работах кафедры ДВС АлтГТУ им.И.И.Ползунова [7], где предлагается схема двигателя на базе четырехтактного дизеля Д-144 с дополнительным окном в гильзе цилиндра, открытие и закрытие которого происходит поршнем в процессе его движения.

Таким образом, попытка создания энергоэффективного ДВС привела к разработке 4-тактного двигателя с двойным выпуском отработавших газов (ОГ), основное конструктивное отличие которого состоит в том, что в гильзе цилиндра на уровне, соответствующем положению поршня в нижней мертвой точке (НМТ), выполнено окно. Выпуск ОГ осуществляется через выпускной клапан и через окно в гильзе, направляя выпускные газы в общий выпускной коллектор.

В ДОГ выпуск через окна и через клапаны приводит к улучшению очистки цилиндра и к уменьшению затрат энергии на такте выталкивания ОГ. Это позволяет работать на больших частотах вращения коленчатого ва-

ла, т.е. позволяет форсировать ДВС по литровой мощности. На полных нагрузках снижается теплонапряженность вследствие уменьшения потока газов через выпускной клапан и продувки цилиндра на тактах конца впуска - начала сжатия, что может позволить повысить мощность на $10\div 25\%$. У высокооборотных двигателей облегчение выпуска из-за дополнительного окна в гильзе повышает эффективный КПД на величину до 11%, что может позволить форсировать двигатель с пропорциональным повышением мощности.

Ряд полезных качеств ДОГ связан с тем, что на пусковом режиме и режиме малых нагрузок давление во впускном тракте и цилиндре меньше давления в выпускном трубопроводе в конце впуска, в период открытия окон. Данное соотношение давлений приводит к возврату части горячих выпускных газов из выпускного трубопровода в цилиндр, т.е. к рециркуляции выпускных газов через окно в гильзе. Повышение температуры и массы газа облегчает воспламенение топлива и запуск двигателя, а также обеспечивает более стабильную работу на холостом ходу и малых нагрузках.

Условием, обеспечивающим работоспособность системы ДОГ, является превышение давления на $5\div 20\%$ во впускной системе над давлением в выпускной системе в период, когда одновременно открыты впускной клапан и выпускное окно в районе НМТ впуска.

Конструктивно ДОГ незначительно сложнее обычного двигателя, причем конвертация в ДОГ не добавляет ни одной подвижной детали. То, что двигатель с дополнительным окном в гильзе несколько сложнее традиционного, сужает область его применения, поэтому использовать его нужно там, где преимущество ДОГ очевидно и значительно.

Таким образом, добиться серьезного увеличения мощности (выше 10%) с одновременным снижением теплонапряженности и улучшением пусковых качеств ПДВС можно, как показано выше, за счет дооборудования 4-тактного двигателя с традиционным клапаным МГР дополнительным золотниковым МГР, т.е. создав двигатель в варианте ДОГ. Однако, в процессе создания такого рода ДВС нельзя обойтись без отработки газодинамического качества впускных и выпускных каналов с клапанами, и особенно важно, дополнительной системы выпуска - продувки начиная с цилиндра и кончая выпускным коллектором.

Снижение газодинамических потерь в проточных частях ДВС процесс достаточно трудоёмкий и длительный, требующий создания образцов или специальных моделей из пластмасс, гипса, быстротвердеющих смол для ускоренной отработки геометрических размеров их проточных частей. Необходимы также специальные продувочные установки и измерительные системы для определения расходных характеристик, как отдельных участков, так и систем газообмена в целом.

Как известно, что отработку газодинамического качества основных элементов традиционных газозвушных трактов ПДВС и, соответственно, дополнительной системы выпуска - продувки, можно производить с помощью статической продувки воздухом элементов входящих в эти системы.

Для оценки газодинамической эффективности проточных каналов необходимо также располагать простой, но обеспечивающей высокую степень достоверности получаемых результатов методикой обработки данных статической продувки [4].

Эта методика, которая одновременно могла бы использоваться как для определения газодинамических потерь в потоке (с учетом влияния на них газодинамических сопротивлений), так и для оценки эффективности мероприятий проводимых в процессе отработки элементов проточных частей на образцах или моделях по принципу «было - стало».

Для этой цели подходит адиабатная методика, которая учитывает воздействие газодинамических сопротивлений на параметры потока.

С помощью этой методики можно проводить отработку как впускных и выпускных каналов с клапанами традиционной системы газообмена, так и дополнительной золотниковой системы выпуска — продувки, а также определять коэффициенты расхода μ , газодинамических потерь ξ и другие необходимые параметры для выполнения газодинамических расчетов при математическом моделировании газозвушных трактов систем газообмена по схеме ДОГ.

При переводе дизеля Д-144 на работу по схеме ДОГ, была проведена конструкторская проработка и изготовление дополнительной золотниковой системы выпуска ОГ и продувки цилиндра, а также проведены первичные доводочные работы с использованием визуализации потока воздуха по каналам системы газообмена с помощью САПР SolidWorks® 3D модели (Рисунок 1) и записаны видеоролики с анимацией движения рабочего тела в сис-

теме, что в значительной степени способствовало сокращению сроков конструирования и доводки дополнительной системы.

После проведения конструкторско-доводочных работ была сформулирована дальнейшая цель работы - качественная и количественная оценка изменения эффективных проходных сечений газозвушных трактов дизеля, оборудованного системой двойного выпуска отработавших газов через клапан и окно в нижней части гильзы, на базе серийных цилиндров дизеля Д-144.

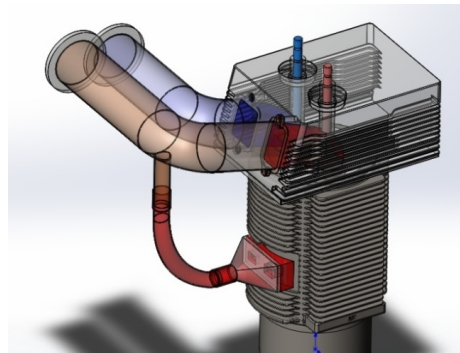


Рисунок 1 – Фотография 3D модели, выполненная для визуализации потока воздуха по каналам ДОГ

С помощью адиабатной методики обработки данных статической продувки были выполнены расчеты и построены графики в зависимости от угла поворота коленчатого вала (ПКВ) следующих величин:

- изменения теоретического и эффективного проходных сечений клапанов основной системы выпуска $F_{кл}$ и $\mu F_{кл}$;
- изменения коэффициентов расхода $\mu_{кл}$ выпускного канала с клапаном основной системы выпуска ОГ;
- изменения теоретического и эффективного проходных сечений окна в гильзе $F_{доп}$ и $\mu F_{доп}$;
- изменения коэффициентов расхода $\mu_{доп}$ дополнительного проходного сечения окна в гильзе цилиндра.

По результатам продувки основного и дополнительного проходных сечений выпуска ОГ, определены эффективные проходные сечения и построены графики их изменения.

Основную нагрузку по выпуску ОГ в начальный период открытия выпускного клапана и окна в гильзе несет дополнительное проходное сечение $F_{доп}$ до прихода поршня в НМТ, а в процессе выталкивания выпускной клапан и окно в гильзе несут примерно одинаковую нагрузку до момента закрытия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОХОДНЫХ СЕЧЕНИЙ СИСТЕМЫ ГАЗООБМЕНА ДИЗЕЛЯ Д-144, ОБОРУДОВАННОГО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЗОЛОТНИКОВЫМ МЕХАНИЗМОМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

поршнем выпускного окна в гильзе. То же самое повторяется и при анализе изменения эффективных проходных сечений $\mu F_{кл}$, $\mu F_{доп}$, μF_{Σ} по углу п.к.в., которые будут почти в четыре раза меньше, чем геометрические проходные сечения $F_{кл}$, $F_{доп}$ и F_{Σ} (Рисунок 2). У выпускного канала с клапаном значительно выше коэффициенты расхода по сравнению с окнами в гильзе цилиндра из-за того, что в выпускном канале с клапаном, как правило, сведены к минимуму отрывные течения, сопровождающиеся вихреобразованием.

Самые низкие коэффициенты расхода $\mu_{доп}$ получились у дополнительной системы выпуска ОГ. Это говорит о том, что прямоугольные окна и резкие переходы в дополнительной системе выпуска ОГ приводят к срывам потоков с острых кромок и вихреобразованию при течении газа в канале, что и определяет большие газодинамические потери, характеризующиеся низкими коэффициентами расхода $\mu_{доп}$.

Таким образом, в результате проведенного анализа изменения эффективных проходных сечений μF по углу ПКВ как для основной системы газообмена, так и дополнительной (окно в гильзе) получены характеристики газообмена – эффективные проходные сечения.

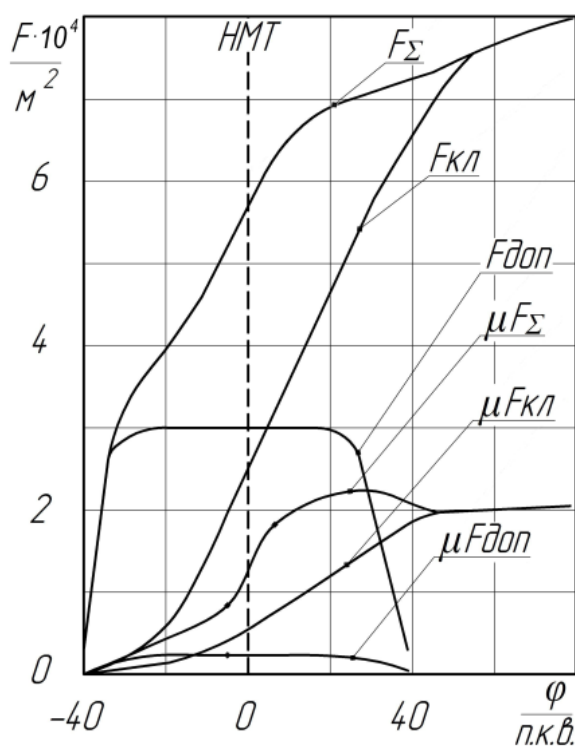


Рисунок 2 – Изменение проходных и эффективных проходных сечений для системы ДОГ по углу ПКВ

На рис. 2 приведены следующие обозначения: F_{Σ} - суммарное проходное сечение выпускного клапана; $F_{кл}$ - проходное сечение выпускного клапана; $F_{доп}$ - дополнительное проходное сечение (окно в гильзе); μF_{Σ} , $\mu F_{кл}$, $\mu F_{доп}$ - эффективные проходные сечения, соответственно, суммарное, выпускного клапана и дополнительное выпуска ОГ.

Выводы

В заключении можно отметить, что разработанная дополнительная система выпуска ОГ ДОГ должна улучшить газообмен, снизить теплонпряженность цилиндра и выпускного тракта, т.к. увеличилось суммарное эффективное проходное сечение μF_{Σ} приблизительно на 30-35% от эффективного проходного сечения выпускного клапана, при продолжительности открытия его и окна в гильзе равном $\varphi=80^\circ$ по углу ПКВ, но имеет высокие газодинамические потери величина которых зависит от дальнейшего проведения доводочных работ с целью их снижения. При выполнении доводочных работ обработку результатов статических продувок нужно проводить по адиабатной методике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жмудяк Л.М. Способ работы четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания / Л.М. Жмудяк. – Патент №2024773 М.кл. F02B 37/00 N4796343, заяв. 28.02.90; опубл. 15.12.94, бюл. №23
2. Двигатель внутреннего сгорания / Г.В. Зенкевич, Харьковский ин-т механизации и электрификации сельского хозяйства (СССР) – А.с. 870749 СССР. МКУ F 02B37/02 (F 02B25/04);(F02D23/00). – № 2828860/25 – 06; заявлено 08.10.79; опубл. 07.10.81., Бюл. №37. УДК 621.43.052(088.8).
3. Способ работы двигателя внутреннего сгорания с наддувом /Е.Т. Бартош, А.С. Нестрахов. Всесоюзный заочный ин-т инженеров ж.-д. транспорта (СССР).-А.с. 1348542 А1 СССР, МКУ F02B37/00, 29/00. - № 3986024/25-06; заявлено 30.09.85; опубл.30. 10.87, Бюл. № 40. УДК 624.43(088.8).
4. Балашов А.А. Уточненная методика обработки результатов статической продувки воздухом элементов системы газообмена двигателей с двойным выпуском ОГ / А.А. Балашов, А.Е. Свищула, С.В. Яковлев // Ползуновский вестник.- 2010.- №1.- С. 203-206.
5. Маханько, М.Г. Газотурбинные системы двигателей с разделённым выпуском газов / М.Г. Маханько. - М.: Машиностроение, 1972. - 120 с.
6. Зенкевич, Г.В. Исследование рабочего процесса четырёхтактного двигателя с разделённым выхлопом / Г.В. Зенкевич, В.Г. Дьяченко // Сб. научн. тр. по механиз. сельского хоз-ва. - Вып.13. - Харьков, 1968 - С.63-71.

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

8. Балашов А.А. Определение расходных характеристик газового тракта дизеля с двойной системой выпуска отработавших газов / А.А. Балашов, А.Е. Свистула и др. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока.- 2010.- №2.- С. 277-231.

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

Балашов А.А., д.т.н., доцент,
профессор кафедры ДВС,
e-mail: D21200403@mail.ru

Сиротенко Д.В., инженер,
магистрант каф. ДВС,

Яров В.С., инженер,
магистрант каф. ДВС,
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, Барнаул