

ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ОКНОМ В ГИЛЬЗЕ

Л.М. Жмудяк, А.Л. Жмудяк

В статье описаны работа и преимущества предложенного и запатентованного поршневого двигателя, основное конструктивное отличие которого состоит в том, что в четырехтактном двигателе имеется постоянно открытое окно в гильзе, по этой причине сложилось рабочее название «двигатель с окном в гильзе – ДОГ». В предложенном двигателе выпуск газов осуществляется и через выпускные клапаны и через постоянно открытое окно в гильзе цилиндра.

Ключевые слова: поршневой двигатель внутреннего сгорания, окно в гильзе цилиндра, двойной выпуск отработавших газов, повышение мощности и КПД.

В настоящее время дальнейшее повышение мощности поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) ограничивается тепловой напряженностью деталей. Чаще всего происходит перегрев поршня, выпускного клапана, головки цилиндров и турбины турбокомпрессора (ТК). Все двигателестроительные предприятия непрерывно ведут большие и дорогостоящие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по снижению теплонапряженности ДВС, так как снижение теплонапряженности открывает возможность повышения мощности двигателя без увеличения его габаритов.

С теплонапряженностью и с высокой температурой деталей двигателя связаны и другие проблемы организации рабочего цикла двигателя. Например, у бензиновых моторов высокая температура цилиндропоршневой группы сдерживает, полезное для повышения КПД двигателя, увеличение степени сжатия и повышает требования к октановому числу бензина.

Кроме того, известное с давних пор явление «стука» или детонации в двигателе, зависящая от максимальных достигаемых в цикле значений давления и температуры несгоревшей смеси, ограничивает повышение наддува бензиновых ДВС, то есть препятствует их форсированию по мощности.

Одним из основных путей повышения мощности является форсирование двигателя по частоте вращения (по оборотам) коленчатого вала. Однако, с ростом частоты вращения возрастают сопротивления движению газов через органы газообмена (клапаны и окна), что ставит предел форсированию двигателей по оборотам.

При постоянных частотах вращения снижение сопротивлений снизило бы расход топлива, но огромные и квалифицированные

работы по совершенствованию (профилированию и даже полирование поверхностей) газовоздушных трактов ДВС способны увеличить их пропускную способность всего на несколько процентов.

Возможности решения указанных проблем в рамках классической конструкции поршневого двигателя практически исчерпаны. В двигателях с наддувом при давлении во впускном трубопроводе, превышающем давление в выпускном трубопроводе, вышеперечисленные проблемы можно решить, осуществляя выпуск в четырехтактном двигателе не только через клапаны, но и через постоянно открытые окна в гильзе. На это техническое решение получен патент [1].

Сложившееся рабочее название предложенного двигателя: «двигатель с открытым окном в гильзе» – сокращенно – «ДОГ». Эта аббревиатура используется ниже при описании сути изобретения.

Определение двигателя с окном в гильзе – ДОГ для двигателей на базе классической конструкции четырехтактных ДВС с клапанным газораспределением можно конкретизировать следующим образом. ДОГ - *четырёхтактный* двигатель, в котором для газообмена используются не только клапаны, но и окна в гильзе, в том числе постоянно открытые окна (без органов закрытия на окне в гильзе) и газообмен через окна осуществляется, хотя бы на одном из режимов, на тактах расширения-выпуска и на тактах впуска-сжатия.

Проанализируем отличия ДОГ от известных конструкций. В двухтактных двигателях для газообмена используются и клапаны и окна в гильзе. Так при петлевой продувке впуск и выпуск проводятся через окна в гильзе. При клапанно-щелевой продувке выпуск проводится через клапаны в головке, а впуск

через окна в гильзе. В классической схеме четырёхтактного двигателя выпуск производится только через выпускные клапаны, окон в гильзе нет. Практически все выпускаемые поршневые четырёхтактные двигатели реализуют классическую схему организации рабочего цикла и газообмена с впуском и выпуском через клапаны в головке цилиндров.

Классическая схема почти полностью вытеснила все другие, в том числе практически вытеснила и гильзовое газораспределение. Гильзовое газораспределение [2, 3 и др.] как раз включает выпуск через окна в гильзе. Такой выпуск обеспечивает отличный газообмен и высокие показатели двигателя. Гильзовое газораспределение имели как двухтактные так и четырёхтактные двигатели, выпускавшиеся серийно, в том числе в качестве авиационных моторов военных самолётов времён Второй мировой войны [2, 3 и др.]. Осуществляется гильзовое газораспределение подвижной гильзой. Усложнение конструкции, связанное с движением гильзы, сделало эту схему неконкурентоспособной. В предложенном двигателе [1] полезные эффекты вследствие выпуска не только через клапаны, но и через окно, достигаются без перемещения гильзы - использованием постоянно открытых окон в гильзе.

Эти окна в конце такта расширения и начале такта выпуска резко облегчают выпуск продуктов сгорания из цилиндра. Окна в гильзе цилиндра открываются поршнем вблизи НМТ. При четырёхтактном цикле – вблизи НМТ выпуска и вблизи НМТ впуска. Вблизи НМТ выпуска польза открытого окна в гильзе отмечена выше, но как будет протекать газообмен, когда поршень откроет окно вблизи НМТ впуска?

У ДВС без наддува (и у некоторых старых ДВС с низким наддувом, например, при низком наддуве и низком КПД турбокомпрессора, а также в ряде ДВС с силовой турбиной и др.) давление в цилиндре вблизи НМТ впуска ниже давления в выпускном трубопроводе (p_m). При этом соотношении давлений вблизи НМТ впуска через открытое окно продукты сгорания из выпускного трубопровода потекут обратно в цилиндр. Последнее уменьшит количество входящего в цилиндр воздуха и соответственно мощность двигателя.

Именно поэтому для старых двигателей постоянно открытое окно в гильзе не предлагалось. У новых двигателей с наддувом на режимах полных нагрузок давление в цилиндре в конце впуска выше, чем в выпускном

трубопроводе, поэтому существенного возврата продуктов сгорания в цилиндр не будет. В этих двигателях возможно постоянно открытое окно в гильзе.

Предложенный двигатель [1] реализует новый способ газообмена, состоящий, в основном, в том, что с выпуском через окна и клапаны сочетаются: на полных нагрузках – продувка в конце впуска – начале сжатия, на малых нагрузках и холостом ходу – дозарядка цилиндра продуктами сгорания в конце впуска – начале сжатия.

Новизна конструкции в её простоте и отсутствии подвижных деталей. Без подвижных деталей обеспечивается: лёгкий выпуск (столь же лёгкий как в двигателях с гильзовым газораспределением), большая продувка, снижающая теплонапряжённость, улучшение работы на малых нагрузках и холостом ходу.

Все элементы конструкции использовались в серийных двигателях, поэтому принципиальных препятствий изготовлению предложенного ДВС не обнаружено.

Кроме рассмотренного выше гильзового газораспределения известны и другие конструкции четырёхтактных двигателей – аналогов ДОГ. Эти аналоги и ДОГ объединяет осуществление газораспределения (в четырёхтактном ДВС) и через клапаны в головке и через окна в гильзе. Такие двигатели можно называть двигателями с двойным газораспределением.

Выше уже отмечалось, что в четырёхтактных ДВС использование окон в гильзе может повысить КПД вследствие облегчения газообмена. Первые концепции организации рабочего цикла включали требование как можно лучшей очистки цилиндра от продуктов сгорания. В большинстве ДВС старых конструкций давление в выпускном тракте превышает давление в цилиндре в конце такта впуска и в начале такта сжатия (вблизи НМТ впуска). Поэтому при наличии открытого окна в гильзе на тактах впуска-сжатия продукты сгорания из выпускного трубопровода должны поступать в цилиндр.

Именно поэтому, опасаясь обратного заброса (возврата) продуктов сгорания из выпускного тракта, в известных схемах и конструкциях на тактах впуска и сжатия (вблизи НМТ впуска) окно в гильзе отсоединяли от выпускного тракта. Окно или закрывалось клапаном (золотником) или соединялось с впускным трактом. Например, в достаточно раннем (1926 год) патенте изобретателя Э. Геркта (E. Herkt) [4] специальным золотни-

ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ОКНОМ В ГИЛЬЗЕ

ком осуществлялось подсоединение окна: на тактах расширения-выпуска – к выпускному трубопроводу, а на тактах впуска-сжатия – к впускному.

В схемах четырёхтактных двигателей, предложенных Г.В. Зенкевичем [5], Е.Г. Бартошем и А.С. Нестаховым [6], выпуск осуществляется через клапаны и окна в гильзе. Согласно этим изобретениям предлагается направлять выпускные газы из выпускных клапанов и окон в гильзе в турбину турбокомпрессора [5] или силовую турбину [6]. В рассмотренных двигателях окна в гильзе закрываются клапанами.

Одна из нестандартных схем газообмена состоит в том, что продукты сгорания из цилиндра удаляются в выпускные трубопроводы, давление в которых существенно различается. Например, один выпускной трубопровод соединяет цилиндр с турбиной турбокомпрессора, и в этом трубопроводе давление существенно выше атмосферного; а другой выпускной трубопровод соединяет тот же цилиндр с атмосферой, естественно, давление в этом трубопроводе сравнительно близко к атмосферному. Двигатели, работающие по таким схемам, профессор М.Г. Маханько назвал: «двигатели с разделенным выпуском» [7].

Варианты разделенного выпуска включают выпуск через окно в гильзе (М.Г. Маханько [7, стр.107, рис. б) и в]), В.Г. Дьяченко и Г.В. Зенкевич [8]). Во всех таких четырёхтактных двигателях золотник [7] или клапан закрывают окна на тактах впуска-сжатия.

Клапан стоит и в трубопроводе, соединяющем окно с выпускной трубой согласно авторскому свидетельству Ю.Г. Пронина [9]. Этот клапан открывается в сторону цилиндра, чем осуществляет соединение окна с выпускным трактом на тактах впуска-сжатия. Согласно формуле и технической сути авторского свидетельства такое соединение ограничено режимами малых нагрузок и пуска. Кроме того, выпуск через это окно не осуществляется.

Перечисленные и другие подобные разработки (например, отмеченные в книге М.Г. Маханько опыты ХПИ [7 стр. 113–114] и А.В. Дмитриевского [7, стр.117]) не нашли применения ввиду сложности механизмов, закрывающих окна в гильзе на тактах впуска-сжатия.

Вместе с тем это закрывание окон, как будет показано ниже, не является необходимым.

Известны предложения открывать на такте впуска выпускной клапан для дополнительной подачи через него: воздуха из атмосферы через короткий выпускной патрубок авиадвигателя [10], продувочного воздуха из выпускного коллектора [11]. Такое открывание (удерживание открытым) выпускного клапана аналогично открытым окнам.

Согласно современным исследованиям, не является необходимым строгое следование концепции наиболее полного удаления продуктов сгорания из цилиндра. Рециркуляция продуктов сгорания в цилиндр давно стала признанным методом совершенствования рабочего цикла, снижения токсичности отработавших газов. Сформировался взгляд на возможность увеличения массы воздуха в цилиндре за счет подачи в цилиндры продуктов сгорания, содержащих достаточно воздуха. Имеется много изобретений по подаче в цилиндр продуктов сгорания. Среди предложенных путей подачи продуктов сгорания в цилиндр широко известна подача газов из другого цилиндра многоцилиндрового двигателя. В цилиндр, в котором заканчивается такт впуска, подаются продукты сгорания из другого цилиндра, в котором заканчивается такт расширения. В этих случаях перетекание газа осуществляется через окна в гильзе [12 и др.]. Причем имеются варианты с постоянно открытыми окнами [13]. Но в этих вариантах окна или не соединяются с трактами впуска и выпуска, или не соединяются с указанными трактами на тактах впуска-сжатия. Следовательно, указанные варианты осуществляют иной способ, который, кстати, можно реализовать лишь в многоцилиндровых двигателях со строго определённым угловым сдвигом колен коленчатого вала (этот сдвиг обеспечивает сдвиг тактов рабочего цикла в цилиндрах на определённые углы поворота коленчатого вала). И, по сути, рассматриваемый вариант способа иной – количество, а иногда и направления течения газов в нем иные, чем при газообмене через окна [1].

Ниже будет показано использование окон в гильзе не только для выпуска, но и для продувки на тактах впуска-сжатия. То есть будет рассмотрено, как вблизи НМТ впуска воздух через эти окна уходит в выпускной тракт. Отметим, что в известных четырёхтактных двигателях окна не используются для продувки. Близкий по фазам газообмена способ продувки состоит в повторном поднятии выпускного клапана на такте сжатия [13] и вытеснении воздуха в выпускной трубопровод через этот клапан. Такая организация

продувки сложна, а эффективность во многих случаях ограничена.

Заканчивая сравнительный обзор прототипов и аналогов ДООГ отметим, что изобретения, направленные на совершенствование схемы газообмена и, тем более, схемы рабочего цикла, появляются крайне редко, и их доля в общем числе изобретений по ДВС уменьшается.

На рисунке 1 изображены схемы: традиционного четырехтактного ДВС с турбонаддувом и ДООГ – в момент окончания такта расширения (НМТ) и начала такта выпуска.

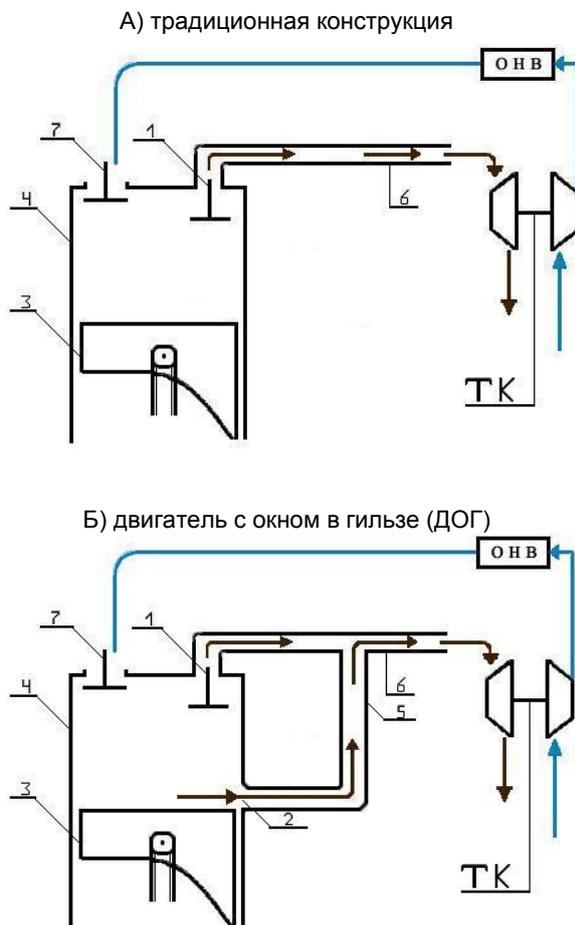


Рисунок 1 - Схемы традиционного четырехтактного ДВС с турбонаддувом и двигателя с окном в гильзе (ДООГ):
 1- выпускной клапан; 2- окно в гильзе; 3- поршень; 4- гильза цилиндра; 5- дополнительный выпускной трубопровод; 6- основной выпускной трубопровод; 7- впускной клапан. ОНВ – охладитель наддувочного воздуха; ТК – турбокомпрессор; стрелками у выпускного клапана 1 и окна 2 показано движение выпускных газов

Выпуск в ДООГ осуществляется и через клапан 1 и через окно 2. Выпускные газы через окна 2 и выпускные клапаны 1 по трубопроводам 5 и 6 поступают в турбину ТК.

Раздвоение потока снижает теплонпряженность головки цилиндра и выпускного клапана 1, открывается возможность форсирования по мощности.

Использование окна увеличивает пропускную способность органов выпуска, примерно, вдвое и позволяет:

- уменьшить затраты энергии на выталкивание выпускных газов, что повышает КПД;
- осуществлять выпуск газов при высоких частотах вращения коленчатого вала, т.е. повысить частоту вращения и пропорционально ей – мощность двигателя.

Схема впуска и продувки в ДООГ (НМТ такта впуска) изображена на рисунке 2.

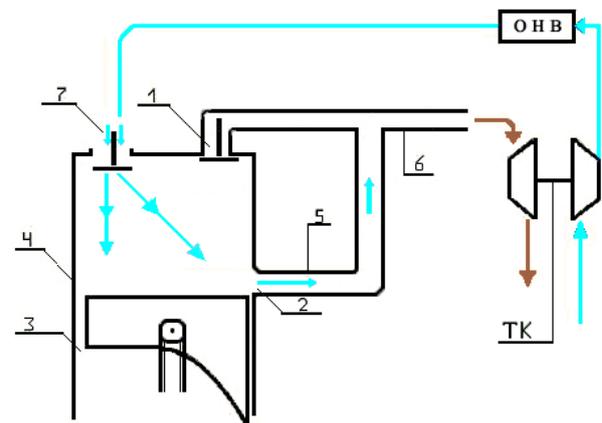


Рисунок 2 - Схема впуска наддувочного воздуха и продувки цилиндра в двигателе с окном в гильзе (ДООГ). Цифровые обозначения идентичны с рисунком 1

При впуске воздух, сжатый в компрессоре турбокомпрессора, поступает в цилиндр 4 через впускной клапан 7. В конце такта впуска (рисунок 2) поршень вновь открывает окно 2 в гильзе, и через окно цилиндр соединяется с дополнительным трубопроводом 5, а через него – с выпускным трубопроводом 6. На значительных нагрузках в данном ДВС давление в цилиндре 4 и в конце такта впуска выше давления в выпускном трубопроводе 6. Поэтому через открытое окно 2 воздух из цилиндра (через трубопровод 5) вытекает в выпускной трубопровод 6. Направление движения воздуха на рисунке 2 показано стрелками. Таким образом, осуществляется продувка

ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ОКНОМ В ГИЛЬЗЕ

и снижается тепловая напряженность цилиндра–поршневой группы, турбины и др. деталей, открывается возможность форсирования по мощности.

На малых нагрузках, на режимах пуска и холостого хода давление в цилиндре в конце впуска становится ниже, чем p_m . Поэтому вблизи НМТ впуска происходит рециркуляция выпускных газов через окно в гильзе.

Выполненные обычные и оптимизационные расчеты показали, что по сравнению с традиционными конструкциями ДОГ имеет следующие преимущества.

На режиме пуска повышается температура в цилиндре в конце сжатия (повышение на 110° – 280° С), что облегчает пуск.

На полных нагрузках: снижается тепловая напряженность вследствие уменьшения потока выпускных газов через клапан и продувки, что позволяет повысить мощность на 10–40% и снижает опасность детонации; у высокооборотных двигателей облегчение выпуска из–за использования дополнительного окна в гильзе повышает КПД на 11% и позволяет форсировать двигатель по оборотам с пропорциональным повышением мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жмудяк, Л. М. Способ работы четырехтактного двигателя внутреннего сгорания / Л.М. Жмудяк.- Патент РФ № 2024773, М.кл. F02B 37/00 № 4796343, заяв. 28.02.90; опубл. 15.12.94.- Бюл. № 23, 1994.
2. Риккардо Г.Р. Быстроходные двигатели внутреннего сгорания. Пер. с англ.-М.: Машгиз, 1960, 411с., с илл.; 4л. черт.
3. Биргер И.А. Авиационные поршневые двигатели. Кинематика, динамика и расчет на прочность. Пособие для инженеров. / И. А. Биргер, Н. И. Дружинин, В. К. Житомирский и др. — М.: Оборонгиз, 1950. — 871 с.
4. Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания с наддувом/Э. Геркт (E. Herkt), иносфирма "Акц. общ. Фрид. Крупп, Германия-верфь", Германия.- Патент № 7249, класс 46 а², 52.-№10635. заявлено 2.09.26; опубл. 31.12.28.
5. 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).

6. Способ работы двигателя внутреннего сгорания с наддувом и двигатель 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).

7. Маханько М.Г. Газотурбинные системы двигателей с разделённым выпуском газов. -М.: Машиностроение, 1972.-120 с.

8. Зенкевич Г.В., Дьяченко В.Г. Исследование рабочего процесса четырехтактного двигателя с разделённым выхлопом. Сб. научн. трудов по механизации сельского хоз-ва. Вып.13.- Харьков.

9. Способ питания воздухом четырехтактного дизеля./Ю.Г.Пронин, МВТУ им.Н.Э. Баумана (СССР).- А.с.254948 СССР, МКУ F02B37/ 08.- №1090655/24-6; заявлено 11.07.66; опубл. 17.10.69, Бюл. № 32. УДК 621.43.052(088.8).

10.Способ работы четырехтактного карбюраторного двигателя внутреннего сгорания / К.А. Гильцин (СССР).-А.с. 70729 СССР, МКУ F02B13/02.-№10597 (349741); заявлено 28.10.46; опубл. 31.03.48.

11.Способ газораспределения в четырехтактном двигателе внутреннего сгорания/О.С. Соколов, А.А. Лазурко, Ю.Н. Волченков и др. (СССР).-А.с. 705134 СССР; МКУ F02B27/00.- № 2397230/25-06; заявлено 12.08.76; опубл. 25.07.79. Бюл. № 47. УДК 621.43 (088.8).

12.Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания /Матиевский Д.Д., Губин М.А. Алтайский политехн. ин-т, (СССР).- А.с. 918467(СССР), МКУ F02B47/08-№ 2914609/06; заявлено 22.04.80, опубл. 07.04.82, Бюл № 13.

13.Способ увеличения КПД двигателя внутреннего сгорания, в частности, с наддувом /Кюртиль Р., «Сосьетэ д'этиюд дэ машин термик СЭМТ». (Франция). -Патент № 2448032 Франция, МКУ³ F01L31/08.-№ 7902877; заявлено 05.02.79; опубл. 29.08.80.

Жмудяк Л.М., д.т.н., проф.,

Жмудяк А.Л., к.т.н.,

АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул,

e-mail: ljmoudiak@hotmail.com,

тел. (3852)368408.

Работа выполнена в порядке реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы