

ния / В.И. Котов.– М.: Машиностроение, 1989.– 415 с.

10.Электронное управление автомобильными двигателями [Текст] / Под ред. Г.П. Покровского. – М.: Машиностроение, 1994. – 335 с.

11.Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей / А.С. Орлин, М.Г. Круглов.– М.: Машиностроение, 1985.– 456 с.

12.Леонов, Г.Н. Об аналитическом определении закона энерговыделения в двигателях внутреннего сгорания / Г.Н. Леонов, А.В. Фролов // Вестник алтайской науки.– 2009.– № 2(5).– С. 94-100.

13.Бриллинг, Н.Р. Исследование рабочего процесса и теплопередачи в двигателе дизеля / Н.Р. Бриллинг.– М.: ГНТИ, 1931.

14.Воинов, А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А.Н. Воинов.- М.: Машиностроение, 1977.– 277 с.

15.Иноземцев, Н.В. Процессы сгорания в двигателях / Н.В. Иноземцев, В.К. Кошкин.– М.: Машгиз, 1949.

16.Либрович, Б.Г. Рабочие процессы ДВС и их агрегатов / Б.Г. Либрович.– М.: Машгиз, 1946.

17.Глаголев, Н.М. Рабочие процессы ДВС / Н.М. Глаголев.– М.: Машгиз, 1950.

18.Петриченко, Р.М. Физические основы внутрицилиндровых процессов в двигателях внутреннего сгорания: Учебное пособие для вузов /

Р.М. Петриченко.– Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983.– 244 с.

19.Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике / Ф.Р. Гантмахер.– М.: Наука, 1966.– 300 с.

20.Леонов, Г.Н. О функциональной связи между давлением в цилиндре и динамикой ДВС / Г.Н. Леонов, А.В. Фролов // Горизонты образования (Научно-образовательный журнал АлтГТУ).- 2006.– Вып. 8.– С. 7-9.

21.Ленин, И.М. Теория автомобильных и тракторных двигателей: Учебник для вузов / И.М. Ленин.– М.: Машиностроение, 1969.– 368 с.

Леонов Г.Н., д.ф.-м.н., проф., заведующий кафедрой высшей математики и математического моделирования, e-mail: vmmm@smtp.ru

Фролов А.В., аспирант,
Шустов И.С., аспирант,
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Барнаул, просп. Ленина, 46, кафедра ВМММ, тел. (83852) 29-07-42, 36-75-92.

УДК 621.436

СИСТЕМЫ ВПУСКА И ВЫПУСКА РОТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ТИПА

А.Н. Токарев, М.Ю. Токарев

Рассмотрены вопросы разработки и расчета системы впуска и выпуска роторного двигателя внутреннего сгорания турбокомпрессорного типа, разработанного в Алтайском государственном техническом университете. В настоящее время двигатель находящегося на стадии изготовления рабочего макета.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, роторный двигатель, системы впуска и выпуска.

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова разработана конструкция роторного двигателя внутреннего сгорания турбокомпрессорного типа (РДТ). Конструкция защищена несколькими патентами [1]. РДТ представляет собой гибрид между поршневым двигателем и газовой турбиной. По конструкции он напоминает газовую турбину, так как имеет компрессор, турбину и камеру сгорания, расположенную в корпусе двигателя между компрессором и турбиной, а по принципу действия – поршне-

вой двигатель (ПД), поскольку имеет те же такты: впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск.

В общем виде двигатель устроен следующим образом. Двигатель имеет вал 1 на котором жестко закреплены ротор компрессора 2 и ротор турбины 3 (рисунок 1). Ротор компрессора имеет рабочую заслонку 2, которая разделяет рабочую полость компрессора на две, постоянно меняющиеся (при вращении вала двигателя) по объему полости: полость А – полость впуска (всасывания) рабочей смеси и полость Б – полость пред-

СИСТЕМЫ ВПУСКА И ВЫПУСКА РОТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ТИПА

варительного сжатия рабочей смеси (рисунок 2). Полости А и Б образованы боковыми щеками 4 и 5 (рисунок 1) и внутренней полостью рабочего кольца 9 (рисунок 2), внутри которой вращается ротор компрессора.

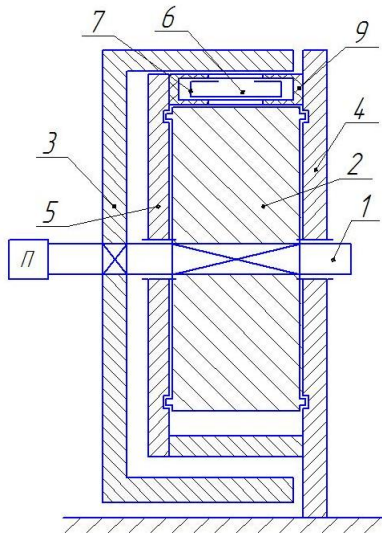


Рисунок 1- Принципиальная схема РДТ:
1- вал двигателя, 2 – ротор компрессора,
3 – ротор турбины, 4 – внешняя боковая щека,
5 – внутренняя боковая щека, 6 – камера сгорания,
7 – газораспределительный стакан,
9 – рабочее кольцо, П – потребитель

В наиболее широкой части рабочего кольца расположена камера сгорания 6, внутри которой вращается газораспределительный стакан 7 имеющий окно для впуска и выпуска в камеру сгорания рабочей смеси при карбюраторной системе питания. В рабочем кольце 9 имеется впускной канал 10 и выпускной канал 11.

Ротор турбины также имеет рабочую заслонку 12 разделяющую рабочую полость 13 турбины на две, постоянно меняющиеся (при вращении вала двигателя) по объему полости: полость С – полость рабочего хода и полость Д – полость выпуска выхлопных газов. Рабочее кольцо 9 (рисунок 2) и боковые щеки 4 и 5 (рисунок 1) составляют корпус двигателя. Более подробно описание конструкции двигателя изложено в [2].

Одним из наиболее важных звеньев конструкции двигателя является системы впуска и выпуска. Эти системы в данном двигателе целесообразно разделить на две подсистемы: *внешняя подсистема* - подсистема впуска рабочей смеси и выпуска в атмосферу отработавших газов и *внутренняя подсистема*

- подсистема, связанная с внутренними процессами, происходящими в камере сгорания, а именно впуск (перепуск) рабочей смеси из полости Б в полость камеры сгорания (полость В) и выпуск горячей рабочей смеси из камеры сгорания в рабочую полость турбины (полость С).

Конструирование *внешней подсистемы (подсистемы впуска)*, связанной с забором рабочей смеси из карбюратора не вызывает особых осложнений. Так в подсистеме впуска отверстие для впуска рабочей смеси от карбюратора в полость всасывания компрессора (полость А) может быть сделано любых требуемых размеров. Впускной тракт от карбюратора до отверстия 14 в наружной боковой щеке может быть выполнен любой требуемой длины и диаметра. Чем больше эти величины (в разумных пределах), тем меньше сопротивление поступлению рабочей смеси в рабочую полость компрессора. Входное отверстие 14 целесообразно выполнить в виде нескольких отверстий небольшого диаметра для уменьшения износа боковой поверхности рабочей заслонки 8.

К конструированию подсистемы выпуска можно применить те же принципы, что и к подсистеме впуска.

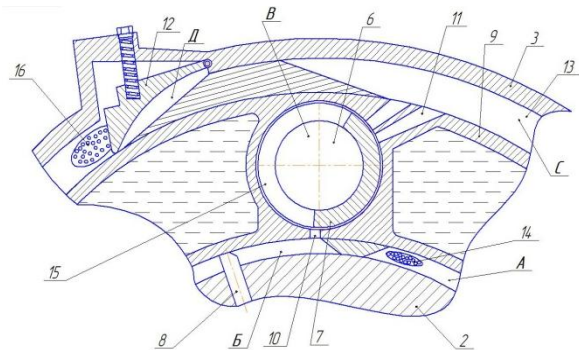


Рисунок 2 – Схематичный поперечный разрез двигателя:

2 - ротор компрессора, 3 – ротор турбины,
6 – камера сгорания, 7 – газораспределительный стакан, 8 – рабочая заслонка компрессора,
9 – рабочее кольцо, 10 – впускной канал в камеру сгорания, 11 – выпускные каналы из камеры сгорания в рабочую полость турбины, 12 – рабочая заслонка турбины, 13 – рабочая полость турбины, 14 – впускной канал, 15 – перепускное окно, 16 – выпускной канал, А – полость впуска, Б – полость сжатия, В – полость камеры сгорания, С – полость рабочего хода, Д – полость выпуска отработавших газов

Конструирование *внутренней системы*, связанной с процессами, происходящими внутри двигателя, требует наиболее тщательного подхода. Речь идет о каналах для впуска рабочей смеси в камеру сгорания (канал 10) и выпуска горячей рабочей смеси из камеры сгорания (канал 11). С точки зрения наилучшего впуска и выпуска эти каналы должны быть как можно большими, чтобы обеспечить лучшее наполнение с наименьшим сопротивлением камеры сгорания и быстрого её освобождения при сгорании рабочей смеси с целью получения наибольшего эффекта от процесса сгорания. С точки зрения газораспределения и эффективности уплотнений эти каналы должны быть минимальных размеров. Следовательно, необходимо искать оптимальное решение.

Впускной канал. Он является наиболее сложным, с точки зрения конструирования, т.к. от его размеров зависит величина «мертвого» объема рабочей смеси не попадающего в камеру сгорания и остающимся в канале 10, и, таким образом, не участвующего в рабочем процессе. А отсюда и КПД двигателя и его топливная экономичность. С этой точки зрения этот канал должен быть минимальных размеров.

Для определения оптимальных размеров канала 10 используем метод аналогий и уточнений. В качестве аналога возьмем хорошо отработанную конструкцию выпускной системы поршневого двигателя. Эта система наиболее близко подходит к нашему двигателю, так как у ПД процесс выпуска происходит под давлением, как и у РДТ. Наиболее узкое сечение системы выпуска ПД является клапан. Максимальная величина его проходного сечения будет иметь место при максимальном открытии клапана. Так у двигателя ВАЗ-2101 максимальная площадь проходного сечения клапана составляет около 2 см² на 0,1 литра рабочего объема цилиндра. В первом приближении эту величину можно взять за основу при расчете проходного сечения канала 10.

Для поршневых двигателей расчет площади проходного сечения клапана можно определить по формуле [3]:

$$S = \frac{F_n C_n}{U_k},$$

где F_n – площадь поршня, C_n – средняя скорость поршня, U_k – скорость потока смеси в клапанной щели.

Если применить эту формулу для расчетов, то необходимо сделать некоторые корректировки.

1. Так если площадь поршня у ПД постоянна, то у РДТ за площадь «поршня» необходимо принять среднее значение площади рабочей заслонки компрессора 2 (от максимального её выхода до минимального)

2. У РДТ скорость «поршня» (скорость вращения рабочей заслонки) постоянна и пропорциональна частоте вращения вала двигателя.

3. Скорость потока смеси в клапанной щели ПД, определенная исследовательским методом, при высокой частоте вращения коленчатого вала равна от 90 м/с до 120 м/с. Эту величину и можно взять за основу при расчетах размеров канала.

При таких корректировках формула для расчета площади проходного сечения канала 10 у РДТ примет вид

$$S = \frac{H(h_{\max} + h_{\min})pRn}{U_k},$$

где H – ширина рабочей заслонки компрессора, h_{\max}, h_{\min} – соответственно максимальная и минимальная высота выхода рабочей заслонки из паза ротора компрессора, R – радиус наружной поверхности ротора компрессора, n – частота вращения вала двигателя.

Расчеты, проведенные для рабочей модели РДТ, показывают, что при расчете по первому методу (по аналогии с ВАЗ-2101) площадь проходного сечения составляет 2 см² на 0,1 литра рабочего объема двигателя. При расчете по приведенной выше формуле при $n=1000 \text{ мин}^{-1}$ площадь равна 0,8 см² на 0,1 литра, а при $n=4000 \text{ мин}^{-1}$ площадь составляет 3,2 см² на 0,1 литра рабочего объема двигателя.

Из расчетов видно, что обе методики расчета дают сопоставимые результаты, которые и можно принять за основу при расчете, в первом приближении, проходного сечения впускного канала рабочего кольца РДТ.

Для нашей рабочей модели РДТ, где рабочий объем двигателя составляет $V=0,03$ литра, ширина рабочей щели в рабочем кольце двигателя должна быть принята в пределах 4-5 мм.

Исходя из теории газодинамики, хорошо разработанной для ПД, к впускному каналу 10 можно предъявить следующие требования:

- длина впускного канала должна быть минимальной. Это связано с тем, что объем

СИСТЕМЫ ВПУСКА И ВЫПУСКА РОТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ТИПА

впускного канала является «паразитным» объемом, так как он не поступает в камеру сгорания и, следовательно, не используется в процессе сгорания рабочей смеси со всеми вытекающими отсюда последствиями;

- расстояние между цилиндрической поверхностью рабочего кольца и наружной цилиндрической поверхностью ротора компрессора должно быть не менее чем ширина щели впускного канала 10. Это необходимо для снижения дополнительного сопротивления на входе рабочей смеси во впускной канал рабочего кольца;

- вход в канал 10 должен быть несколько закруглён, т.к. в этом месте направление потока рабочей смеси резко меняет направление движения.

Выпускной канал. Он предназначен для выпуска горячей рабочей смеси из камеры сгорания в рабочую полость турбины. С точки зрения эффективности работы двигателя и получения максимального КПД, площадь этого канала должна быть как можно большей. Для выполнения этого условия с конструктивной точки зрения необходимо сделать следующее:

- каналов должно быть несколько (как минимум два);

- каналы должны вступать в работу последовательно, по мере открытия перепускового окна 15 в механизме газораспределения.

Требование иметь несколько последовательно расположенных по окружности каналов вызвано тем, что при выходе из камеры сгорания горячая рабочая смесь не должна попадать в канал с большим объемом, так как это резко снижает скорость газовой струи и ее воздействие на рабочую заслонку турбины уменьшается. Каждый канал должен быть по длине как можно более коротким и слегка расширяющимся, чтобы не возникало дополнительного сопротивления движению газов по каналу.

Приведенные выше расчеты были взяты за основу при конструировании рабочей мо-

дели РДТ. Сконструированная и изготовленная рабочая модель двигателя при испытаниях подтвердила наши расчеты.

В качестве перспективы мы рассматриваем возможность применения на двигателе системы питания с впрыском топлива в камеру сгорания. В этом случае утечка рабочей смеси через уплотнения будет минимальной, поскольку через зазоры в сопряжениях будет уходить только воздух, а не рабочая смесь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: патенты Рос. Федерации №2351780, №2425233, №2427716 / Токарев А.Н., Токарев М.Ю. и др.; - заявитель и патентообладатель Алтайский гос. тех. ун-т.

2. Нетрадиционные двигатели внутреннего сгорания: учебное пособие/А.Н. Токарев, В.В. Нешатаев, С.А. Ульрих.– Барнаул: Изд-во Алтайского гос. тех. ун-та, 2010.- 82 с.

3. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания / Б.Г. Драганов, М.Г. Круглов, В.С. Обухов.– К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987.– 175 с.

Токарев А.Н., к.т.н., проф., заведующий кафедрой «Организация и безопасность движения, декан ФЭАТ,
e-mail: tokarewan@mail.ru

Токарев М.Ю., студент,
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
656038, Барнаул, просп. Ленина, 46,
тел. (3852) 290814.