

ЧИСТО РОТОРНЫЙ

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ВОЗМОЖНО ЛИ?

Романов Виктор Иванович, д.т.н., доцент, ГП НПКГ "Зоря-Машпроект"

Рассматривая роторный двигатель Ванкеля с его трехгранным ротором планетарного вращения, сложной внутренней формой корпуса, удлинненной узкой камерой сгорания, возникает желание найти более простое, технологичное решение роторного двигателя.

Наиболее полный анализ различных схем роторных двигателей и их классификация выполнены в работах (1,2). Имеются достаточно простые схемы ротационных паровых двигателей, но двигатель внутреннего сгорания на их основе разработать не получается. Тем не менее, после проработки ряда вариантов и попыток решение для чисто ротационного двигателя внутреннего сгорания было найдено.

На рис. 1 представлена принципиальная схема такого двигателя. В корпусе 1 расположен ротор двигателя 2 с двумя противоположными

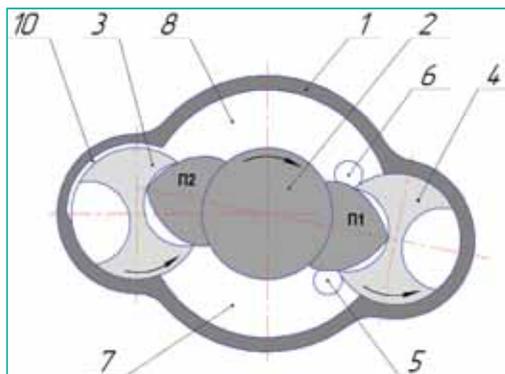


Рис. 1. Принципиальная конструкция роторного двигателя
1 - корпус; 2 - ротор с поршнями П1 и П2;
3, 4 - разделительные роторы; 5 - впускное отверстие; 6 - выпускное отверстие;
7 - полость всасывания; 8 - полость рабочего хода (выхлопа); 10 - проточка рабочего хода

положными круговыми поршнями П1, П2 и два разделительных ротора 3 и 4. Два разделительных ротора 3,4 соединены с валом двигателя 11 (рис. 4) синхронизирующими шестернями (на рис. 4 не показаны), обеспечивающими вращение роторов с одинаковыми угловыми скоростями и направлениями вращения, показанными на рис. 1. Вращающийся ротор 2 с поршнями П1 и П2 в процессе работы двигателя обеспечивает сжатие рабочего воздуха до требуемого давления и в нем за счет профилирования поршня и выреза в разделительном роторе 3 сформирована камера сгорания двигателя. Второй разделительный ротор 4 отделяет полости всасывания и выхлопа. В полостях всасывания 7 и выхлопа 8 имеются незакрывающиеся отверстия 5 и 6, через которые подводится воздух для сжатия и, соответственно, удаляются

отработавшие в двигателе газы.

В процессе работы роторного двигателя происходят типичные для двигателя внутреннего сгорания процессы термодинамического цикла. В положении рис. 2а полость всасывания заполнена атмосферным воздухом через незакрывающееся отверстие 5. При вращении поршня П1 ротора 2 по часовой стрелке до достижения разделительного ротора 3 воздух в полости всасывания сжимается до давления 0,65 мПа, дальнейшее сжатие до давления 2,1 мПа будет происходить в замкнутой полости, образованной передней (по ходу вращения) поверхностью поршня и выемкой в рабочем вращающемся роторе 3.

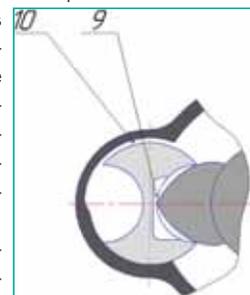


Рис.3 Конструкция разделительного ротора
9 - вырез в выемке разделительного ротора;
10 - проточка рабочего хода

Для обеспечения работы роторного двигателя в выемке вращающегося ротора 3 выполнен специальный вырез 9, рис.3 (Патент Украины №105808 от 25.06.2014 года). Через этот вырез произойдет перепуск сжатого воздуха с передней по ходу вращения поршня стороны на заднюю. Наличие выреза 9 в разделительном роторе является принципиально важным моментом, определяющим возможность работы предложенной схемы в качестве двигателя внутреннего сгорания. Конфигурация выреза 9 в поршне выполнена таким образом, чтобы, кроме функции перепуска сжатого воздуха с передней стороны поршня на заднюю, она обеспечивала: а) достижение необходимого давления сжатия воздуха до 2,1 мПа, б) минимизирует "реактивный" обратный момент от разделительного ротора 3, передающийся через синхронизирующие шестерни на вал двигателя и действующий от момента розжига топливовоздушной смеси до выхода рабочего поршня из зацепления с разделительным ротором.

При повороте ротора на угол +15 градусов от положения, аналогичного положению верхней "мертвой точки" (ВМТ) традиционного поршневого двигателя внутреннего сгорания (рис. 2б) поршень П1 ротора достигает края выреза 9 в выемке разделительного ротора 2 и с учетом угла опережения зажигания выполняется впрыск топлива в выемку разделительного ротора (камеру сгорания) и производится его зажигание.

При положении ротора П1 угол +20 градусов от ВМТ (рис.2в) топливовоздушная смесь сгорает и начнется процесс расширения

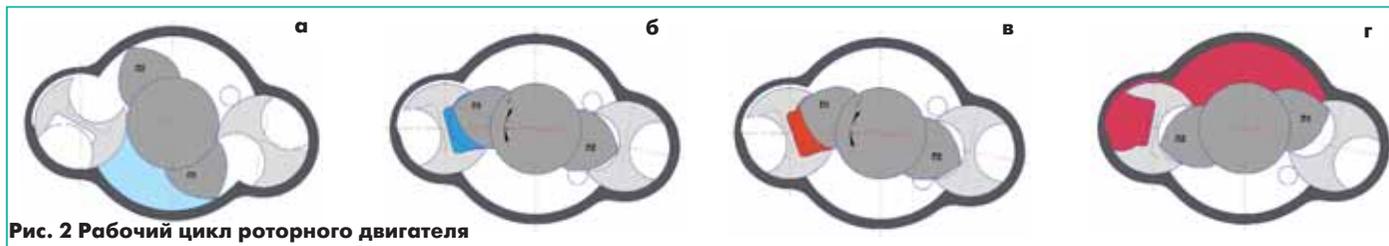


Рис. 2 Рабочий цикл роторного двигателя

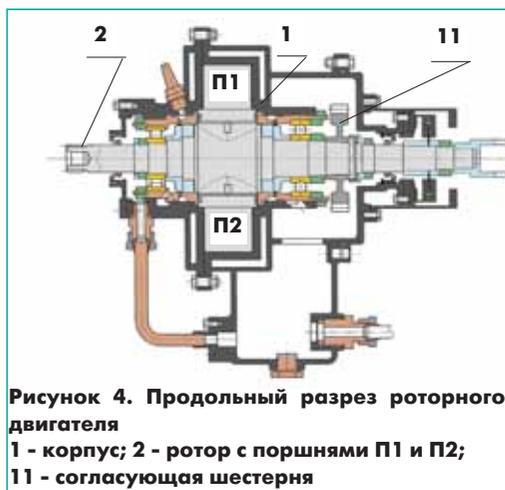


Рисунок 4. Продольный разрез роторного двигателя
1 - корпус; 2 - ротор с поршнями П1 и П2;
11 - согласующая шестерня

П1 своей передней стороной полностью вытеснит через отверстие 6 отработавший газ от предыдущего рабочего цикла.

Дополнительно следует обратить внимание на наличие в корпусе двигателя проточки рабочего хода 10 (рис.3), назначение которой состоит в обеспечении перетока оставшегося в изолированной части выемки разделительного ротора 3 рабочего тела в полость рабочего хода, таким образом будет использован весь полезный объем рабочего тела.

На этом заканчивается цикл работы поршня П1, который выполняется за 1 полный оборот ротора 2 двигателя. Поршень П2



Рисунок 5. Геометрические размеры роторного двигателя (размеры в мм)

в точности повторяет рабочий цикл, таким образом два поршня за один оборот вала двигателя совершают два полных цикла, в то время как в поршневом двигателе полный цикл выполняется за два оборота. На этом основании можно утверждать, что при одинаковом объеме двигателя рассматриваемый роторный двигатель будет потенциально иметь большую удельную мощность и лучшие массогабаритные показатели.

Выполнен расчет основных технических показателей опытного образца роторного двигателя, показанного на рис.5. Приняты для расчета геометрические размеры:

- диаметр рабочего поршня 300 мм.,
- диаметр разделительного ротора 160 мм.,
- высота поршня 70 мм.,
- ширина поршня 50 мм.,

Параметры двигателя рассчитывались с учетом утечек рабочего тела через радиальный и боковые зазоры в рабочем поршне, при этом принимался радиальный зазор по поршню 0,015...0,02 мм, боковой - 0,01 мм. Следует отметить, что поддержание таких зазоров при работе возможно только с установкой уплотнений по радиальным и боковым зазорам. Обеспечение минимальных зазоров и, соответственно, утечек рабочего тела со стороны высокого давления в полости более низкого давления является одним из важнейших условий получения высоких показателей роторного двигателя.

В качестве показателя положения поршней и фаз работы роторного двигателя принят угол (фи), отсчитываемый от горизонтальной оси ротора поршней по часовой стрелке.

Исходные данные рабочего процесса.

- параметры окружающей среды: давление 0,1 мПа, температура 25 градусов,

ния газа, то есть пойдет рабочий ход. Рабочий ход продолжается до положения, когда задняя сторона рабочего поршня П1 достигнет края выпускного отверстия 6 (рис. 2г). В процессе рабочего хода поршень

- теплотворная способность топлива 44 000 кДж/кг,
- стехиометрическое соотношение 14,96 кг воздуха/кг топлива,
- коэффициент избытка воздуха 1.05,
- давление впуска с учетом потерь подводящего канала 0,087 мПа,
- давление остаточных газов 0,115 мПа,
- коэффициент полноты сгорания с учетом тепловых потерь 0,85,
- механический КПД 0,95,
- частота вращения ротора 3000 об/мин.

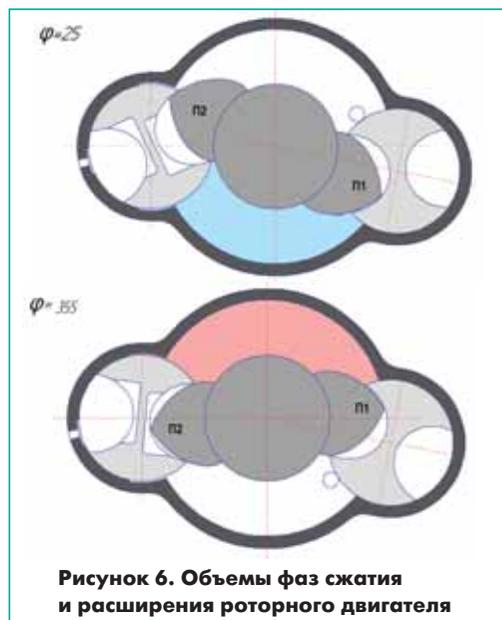


Рисунок 6. Объемы фаз сжатия и расширения роторного двигателя

Указанные исходные данные приняты достаточно "консервативными", в первую очередь, частота вращения ротора. Это сделано для отработки процесса работы опытного образца двигателя, когда недостаточно исследованы особенности такого процесса. На рис. 6 для принятой геометрии роторного двигателя определены объемы фаз сжатия и расширения в кубических сантиметрах. Особенностью данного типа двигателя является соотношение объемов рабочего хода и сжатия, отношение которых равно 1,17 в отличие от обычных поршневых двигателей, где это отношение равно 1.0. Такое относительное увеличение доли рабочего хода позволяет в большей степени использовать энергию рабоче-

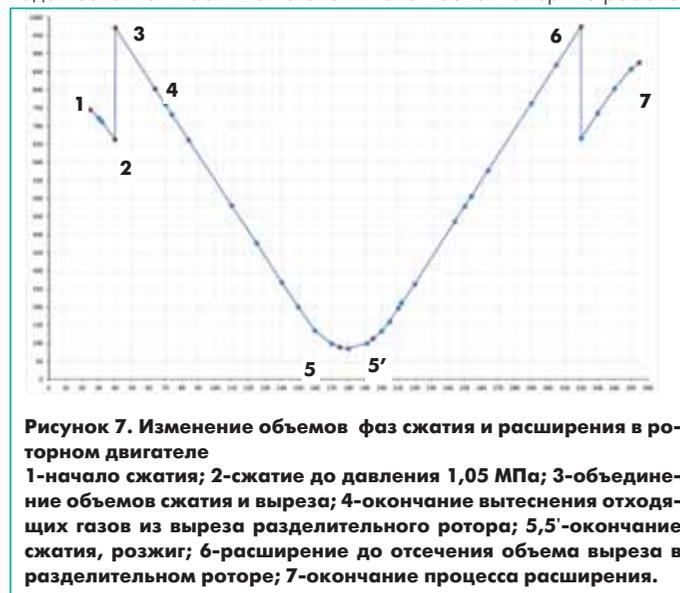
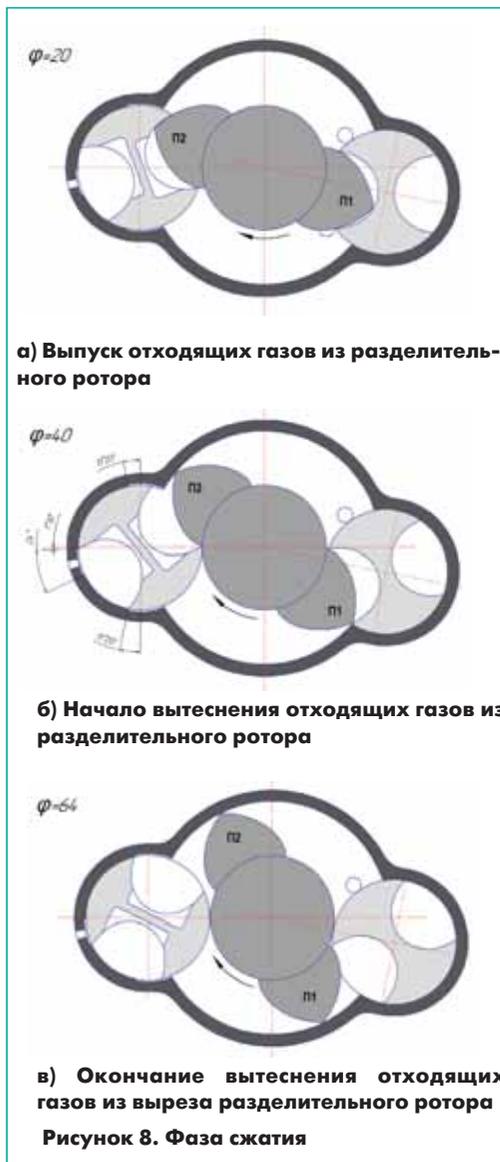


Рисунок 7. Изменение объемов фаз сжатия и расширения в роторном двигателе
1-начало сжатия; 2-сжатие до давления 1,05 МПа; 3-объединение объемов сжатия и выреза; 4-окончание вытеснения отходящих газов из выреза разделительного ротора; 5,5'-окончание сжатия, розжиг; 6-расширение до отсечения объема выреза в разделительном роторе; 7-окончание процесса расширения.

го тела для преобразования ее в мощность двигателя.

Проблемным вопросом для рабочего цикла роторного двигателя могут быть остаточные газы в вырезе рабочего разделительного ротора с температурой выше 1000 градусов Цельсия, остающиеся в вырезе ротора после рабочего хода (рис. 2 г.). Если эти газы не удалить, то в дальнейшем они попадут в полость сжатия, значительно повысят температуру сжимаемого газа и существенно снизят технические показатели двигателя. Для исключения этого в фазе сжатия роторного двигателя организовано несколько этапов (рис.8):



- этап 1 (угол ϕ от 20 угла до 40 градусов), рис. 4а.

- этап 2 (угол ϕ от 40 до 64 градуса), рис. 4б. Процесс вытеснения горячих газов из выреза разделительного ротора (не менее 50 процентов). Канал сжатия соединен через проточку вытеснения с вырезом в разделительном роторе и атмосферой, из выреза разделительного ротора горячие газы вытесняются в атмосферу. В завершении процесса образуется смесь с параметрами: давлением 0,105 мПа и температура 361 градуса Цельсия, при этом процент подмешивания остаточных го-

рячих газов составляет 7,4%.

- этап 3 (угол ϕ от 64 градусов до 180 градусов), рис. 4в, процесс сжатия. В конце фазы сжатия давление воздуха повышается до 2,1 мПа, температура до 848 К (575 Цельсия). Масса сжимаемого воздуха в канале сжатия уменьшается вследствие утечек через зазоры с 0,81 грамма до 0,73 грамма, то есть в процессе сжатия утечки составляют около 10% воздуха.

На рис. 7 приведена зависимость изменения объемов фаз сжатия и расширения (рабочего хода) роторного двигателя в зависимости от угла положения рабочего поршня с указанием характерных точек рабочего цикла. Точками 1-5 обозначены характерные фазы сжатия, описание которых приведено выше.

После подачи топлива в камеру сгорания, образованную поверхностями выреза/ выемки в разделительном роторе и поверхностью рабочего поршня происходит вспышка топливовоздушной смеси, начинается процесс сгорания топлива, при этом температур повышается до 2420 градусов Цельсия, максимальное давление составляет 6.1 мПа. Рабочий ход роторного двигателя продолжается до достижения задней поверхностью рабочего поршня выпускного канала. Отработавшая рабочая смесь с температурой 1130 градусов Цельсия и давлением 0.18 мПа через систему выпускных каналов сбрасывается в атмосферу и затем начинается новый рабочий цикл роторного двигателя. Процесс рабочего хода сопровождается дополнительными утечками через зазоры поршневого двигателя, величина которых для стадии расширения достигает 15% от массы рабочего тела.

На основании расчета рабочего цикла определены обоб-

щенные параметры роторного двигателя указанных размеров, которые составляют:

- мощность 57,3 кВт,
- часовой расход топлива 16,5 кг/час,
- коэффициент полезного действия 28,5%.

Рассматриваемая схема роторного двигателя имеет характерные для такого типа двигателей преимущества и проблемы. К основным достоинствам рассматриваемого двигателя можно отнести:

1. Высокая удельная мощность.
2. Простота двигателя, отсутствие кривошипно-шатунных механизмов, впускных, выпускных клапанов.
3. Полная уравновешенность двигателя, роторные детали которого представляют собой тела вращения. Отсутствие каких-либо неуравновешенных вращающихся масс.
4. Пониженные потери на трение из-за отсутствия большого количества деталей кривошипно-шатунного и клапанных механизмов.
5. Повышенный коэффициент полезного действия вследствие увеличенного хода цикла на фазе рабочий ход.

Проблемы при создании рассматриваемого двигателя также обычны для роторных двигателей, это уплотнение рабочих поршней ротора и неравномерность нагрева корпуса и разделительных роторов. По указанным проблемам имеются технические решения, которые должны отработываться при изготовлении и испытаниях реальных образцов роторного двигателя.

Системы зажигания, топливпитания, смазки, охлаждения, запуска роторного двигателя не отличаются от традиционных поршневых двигателей и могут быть подобраны в соответствии с характеристиками и мощностью роторного двигателя. ▶

Литература

1. Ханин Н.С., Чистозвонов С.Б. Автомобильные роторно-поршневые двигатели. Москва, Машгиз, 1964 г.

2. Исаев И.Д. Роторные двигатели - прошлое и будущее, www.rotor-motor.ru. 2018 г.

Связь с автором :romsel4@gmail.com

Эта статья появилась в нашем журнале по рекомендации заведующего кафедрой моторного факультета МАИ Алексея Борисовича Агульникова. И её наличие нас немало порадовало. Дело в том, что Виктор Иванович - наш давний и весьма читаемый автор, с которым, к сожалению, нам давно не приходилось встречаться на страницах журнала.

Редакция присоединяется к поздравлениям В.И. Романова с весьма почетным юбилеем - 90 летием. Пусть эта публикация будет дополнительным подарком.

В.И. Романов был генеральным директором- генеральным конструктором предприятия Машпроект г. Николаев в течение более 35 лет, и все применяемые корабельные газотурбинные двигатели и 30 процентов ГПА были спроектированы и изготовлены в этот период в г. Николаеве.

Многих ему лет, крепкого здоровья, уважения и любви близких и родных и творческих мыслей, так осмысливающих жизнь!

Редакционная коллегия журнала "Двигатель"

Начало статьи в "Двигателе" № 4, 2003 г.

