

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.Н. Токарев, В.В. Нешатаев

В статье рассмотрены вопросы разработки конструкции турбокомпрессорного двигателя внутреннего сгорания изобретенного в АлтГТУ и находящегося на стадии изготовления опытного образца.

The problems of turbocompressor internal combustion engine design's development are examined. This equipment was made in Altai state technical university and is now pre-production model.

Уже более ста лет двигатели внутреннего сгорания исправно служат человечеству в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте. За это время конструкция их не претерпела особых изменений. Большая часть новых агрегатов ДВС, это всего лишь глубоко модернизированные старые. Тем не менее, инженеры многих стран пытаются найти такую конструкцию двигателя внутреннего сгорания, которая могла бы принципиально отличаться от традиционных поршневых ДВС.

Перспективный двигатель должен быть более простым по конструкции, лёгким, экономичным, более дешёвым в производстве, иметь высокий КПД. Примером таких поисков может служить известный двигатель Феликса Ванкеля. Но, как оказалось, двигатель Ванкеля имеет ряд существенных недостатков: недостаточный ресурс, сложный ремонт, проблемы с экологичностью, сложность производства и т.д. Предлагались и другие конструкции: двигатель Сарича, роторный двигатель непрерывного горения, винтовой двигатель внутреннего сгорания, двигатель Курочкина и т.д. Все они имеют ряд недостатков, из-за которых они не получили распространения и не смогли составить должную конкуренцию традиционным двигателям внутреннего сгорания.

В АлтГТУ вот уже несколько лет ведутся разработки принципиально нового турбокомпрессорного двигателя внутреннего сгорания. Конструкция двигателя защищена несколькими патентами [1, 2, 3, 4]. Разрабатываемый нами турбокомпрессорный двигатель (ТКД) имеет очень простую конструкцию. Простота конструкции состоит в том, что в качестве основных конструктивных элементов используются детали простой геометрической формы, совершающие только вращательное движение. Лишь некоторые, не основные, детали ТКД совершают возвратно-поступательное движение.

Двигатель состоит из компрессора роторного типа, камеры сгорания, расположенной в рабочем кольце и турбины (рисунок 1). Все процессы, характерные для четырёхтактных ДВС, в этом двигателе происходят за один оборот вала двигателя. Таким образом, предполагается, что КПД такого двигателя будет гораздо выше, чем у традиционных ДВС.

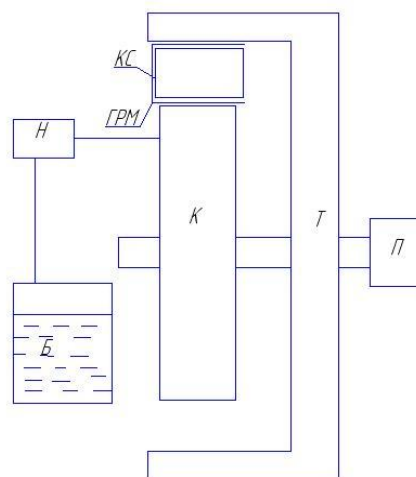


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТКД: К – компрессор, КС – камера сгорания, ГРМ – газораспределительный механизм, Т – турбина, Б – бак с топливом, Н – насос, П – потребитель

Принцип работы турбокомпрессорного двигателя состоит в том, что, как и у газовой турбины, на одном валу установлен компрессор и турбина, между которыми имеется камера сгорания. Внутри камеры сгорания имеется газораспределительный механизм, позволяющий в нужный момент впускать в камеру сгорания сжатую компрессором рабочую смесь и выпускать ее в момент, когда в камере сгорания воспламеняется рабочая смесь. Горящая рабочая смесь, выходя из камеры сгорания, воздействует на ротор турбины, заставляя его вращаться. Избыточная

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

мощность, получаемая на валу двигателя, может быть использована потребителем.

Роль газораспределительного механизма выполняет цилиндр камеры сгорания, который вращается с той же частотой что и центральный вал. Он имеет окна, через которые происходит заполнение рабочей смеси в камеру сгорания.

Рабочий цикл в рассматриваемом двигателе осуществляется по той же схеме, как в любом поршневом двигателе внутреннего сгорания, т.е. вначале идет впуск, затем сжатие, далее воспламенение рабочей смеси и рабочий ход, последнее - выпуск отработавших газов. Для удобства рассмотрения ТКД примем за основу схему, показанную на рисунке 2, где условно ротор компрессора и ротор турбины, а так же камера сгорания разнесены друг от друга.

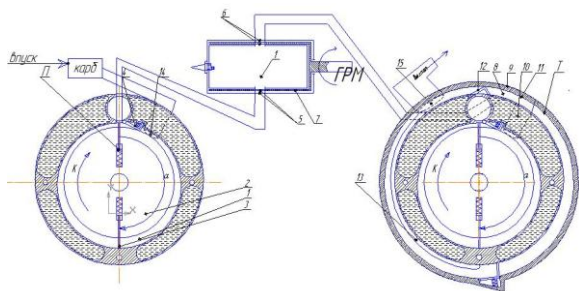


Рисунок 2 – Общая схема ТКД: К – компрессор, Т – турбина, КС – камера сгорания, α – угол поворота вала двигателя, 1 – рабочая полость компрессора, 2 – ротор компрессора, 3 – заслонка ротора, 4 – уплотняющая «Г»-образная пластина ротора, 5 – впускные окна ГРМ, 6 – выпускные окна ГРМ, 7 – газораспределительный механизм (ГРМ), 8 – рабочая полость турбины, 9 – ротор турбины, 10 – рабочее кольцо двигателя, 11 – «Г»-образная заслонка ротора турбины, 12 – уплотняющая «Г»-образная пластина, 13 – дополнительный выпускной канал, 14 – канал для впуска рабочей смеси, 15 – канал для выпуска отработавших газов

Рассмотрим первоначально полный рабочий цикл двигателя от такта впуска до такта выпуска происходящий с одним зарядом топливовоздушной смеси. Для пояснения принципов работы ТКД примем следующее:

- за начало отсчета вращения вала двигателя примем такое положение ротора компрессора, когда заслонка 3 находится в «вертикальном» положении на наименьшем расстоянии от камеры сгорания (положение П);

- вращение вала двигателя происходит по часовой стрелке, если смотреть со сторо-

ны расположения свечи зажигания (показано стрелкой на рисунке 2).

В рассматриваемом ТКД такт «всасывание» и такт «сжатие» происходят в компрессоре, а такт «рабочий ход» и такт «выхлоп» – в турбине.

Такт впуска. Впуск топливной смеси происходит на угле поворота вала двигателя от 0° до 360° . При вращении вала двигателя, начиная от $\alpha=0^\circ$, за рабочей заслонкой 3 возникает разрежение и топливная смесь через впускной канал 14 поступает в полость «А» (см рисунок 2), образованной наружной поверхностью ротора компрессора 2, внутренней поверхностью рабочего кольца 10, «Г»-образной заслонкой 3, уплотняющей пластиной 4, внутренней и наружной щеками корпуса двигателя. Заканчивается впуск смеси на угле поворота вала двигателя равном 360° .

Такт сжатия. Такт сжатия, происходящий с рассматриваемым зарядом топливной смеси, происходит на угле поворота вала двигателя от 360° до $700^\circ \div 720^\circ$ (рисунок 3).

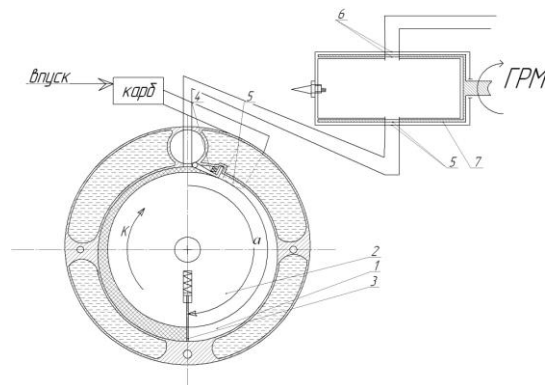


Рисунок 3 – Сжатие рабочей смеси в рабочей полости компрессора

При начале движения ротора компрессора от 360° начинается сокращение объема полости «Б» образованной, теми же поверхностями и деталями как и полость «А». Первоначально, топливо воздушная смесь сжимается в полости «Б» на угле поворота вала двигателя от 360° до $530^\circ \div 550^\circ$, т.е. до момента совмещения впускных окон 5 механизма ГРМ. При совмещении впускных окон, предварительно сжатая, до небольшого давления (примерно 0,2 МПа) в полости «Б» топливовоздушная смесь устремляется в камеру сгорания. При дальнейшем вращении вала двигателя от 540° топливная смесь будет дальше сжиматься уже в полости «Б» и камере сгорания. Сжатие рабочей смеси в камере

сгорания будет происходить до тех пор пока впускные окна 5 закроются.

Рабочий ход. Такт «рабочий ход» осуществляется на угле поворота вала двигателя от 720° до 900° . При угле поворота вала двигателя равном $720^\circ - \beta$ (β - угол опережения зажигания), когда сжатая рабочая смесь находится в камере сгорания, происходит воспламенение топливной смеси от свечи зажигания (рисунок 4).

Рабочая смесь сгорает, и давление в камере сгорания повышается. В это же время начинают совмещаться выпускные окна 6 механизма ГРМ и горячая смесь, через выпускной канал, устремляется в полость «В», которая образована внутренней и наружной щеками корпуса двигателя, внутренней поверхностью ротора турбины, наружной поверхностью рабочего кольца 10, рабочей «Г» - образной заслонкой ротора турбины и уплотнительной пластиной 12. Давление газов передается на рабочую «Г» - образную заслонку ротора турбины, заставляя ротор турбины и вал вращаться и создавать крутящий момент на валу двигателя.

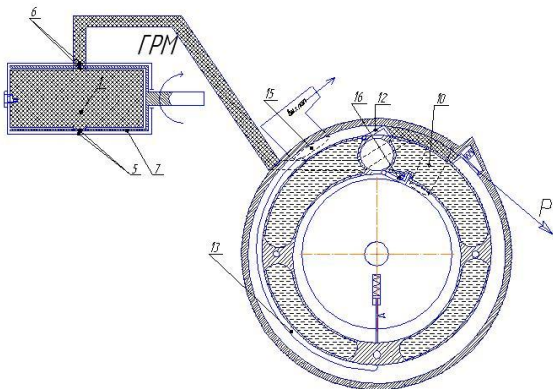


Рисунок 4 – Схема такта «рабочий ход»

Этот процесс длится на угле поворота вала двигателя от 720° до $900^\circ + \gamma$, т.е. до момента, когда закрываются выпускные окна 6. Угол γ – это угол на котором происходит «продувка» камеры сгорания. Далее, на угле поворота вала двигателя от 900° до 1080° , происходит процесс догорания топливной смеси. Для того чтобы за заслонкой турбины не образовался вакуум используется дополнительный выпускной канал 13.

Процесс продувки. Продувка камеры сгорания происходит на угле γ (рисунок 5). В начальной фазе этого угла начинают совме-

щаться впускные окна 5, а выпускные 6 еще не перекрыты полностью.

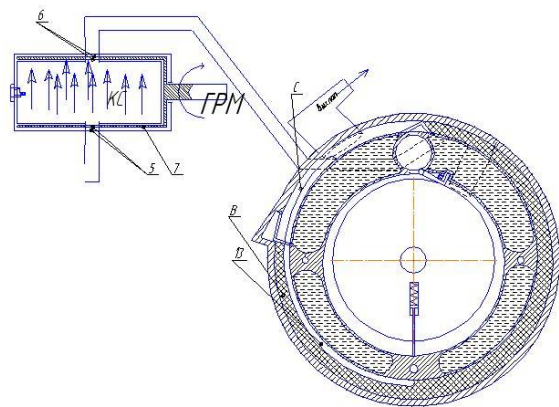


Рисунок 5 – Схема продувки камеры сгорания

В этот момент, предварительно сжатая в полости «Б» топливная смесь, через впускные окна устремляется в камеру сгорания, вытесняя из неё остатки выхлопных газов через открытые, в это время, выпускные окна 6. В конечной фазе угла γ полностью закрываются выпускные окна 6, а впускные окна 5 продолжают открываться и свежая топливовоздушная смесь поступает в камеру сгорания. На угле γ осуществляется процесс очистки камеры сгорания от отработавших газов, т.е. процесс «продувки» камеры сгорания.

Такт выпуска. Такт выпуска, с рассматриваемым зарядом топливной смеси, происходит на угле поворота вала двигателя от 1080° до 1440° (рисунок 6). При этом, за счет «Г»-образной заслонки ротора турбины, отработавшие газы перемещаются по окружности в полости «Г», которая образована теми же плоскостями и деталями, что и полость «В». Отработавшие газы, при этом, выталкиваются через выпускной канал 15 в атмосферу.

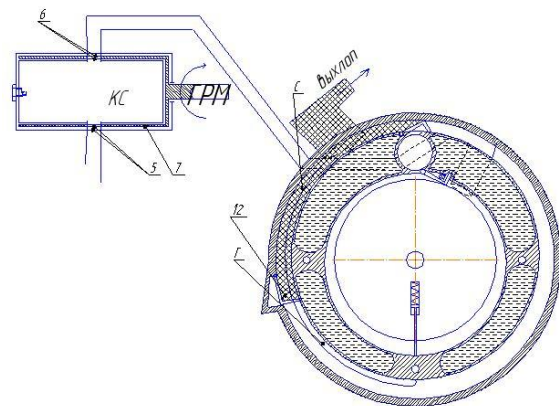


Рисунок 6 – Схема такта выпуска

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Дополнительный выпускной канал 13 (рисунок 5) соединяет полость «Г» с полостью «В» для исключения создания разрежения в полости «В» после полного процесса расширения отработавших газов, т.е. после того как в полости «В» будет, примерно, атмосферное давление.

Таким образом, при угле поворота вала двигателя от 0° до 1440° выполняется полный рабочий цикл, происходящий с одним зарядом топливовоздушной смеси в ТКД.

Общий процесс работы ТКД. При постоянной работе двигателя все четыре такта происходят одновременно, но в разных роторах, на угле поворота вала двигателя от 0° до 360° . При этом в роторе компрессора одновременно происходит «такт впуска» (полость «А») и «такт сжатия» (полость «Б») (рисунок 2). При угле поворота вала двигателя равном 0° - β в камере сгорания происходит воспламенение топливной смеси и горящая смесь устремляется в рабочий ротор турбины. При угле поворота вала двигателя от 0° до 360° в роторе турбины происходит одновременно «рабочий ход» (полость «В») и «выпуск» отработавших газов (полость «Г»). Таким образом, все циклы работы двигателя происходят за один оборот вала двигателя и, причем, одновременно.

Диаграмма рабочего цикла турбокомпрессорного двигателя. Рабочий цикл двигателя можно представить в виде диаграммы, на которой по вертикальной оси откладывается давление P , а по горизонтальной – объем камер, в которых происходят все процессы: впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск (рисунок 7).

Следует отметить, что в ТКД имеется три камеры: одна в роторе компрессора, вторая – камера сгорания, третья – в роторе турбины.

На диаграмме линия впуска 1-2 располагается ниже линии атмосферного давления ($0,1$ МПа), за счет этого и происходит процесс всасывания рабочей смеси. Этот процесс происходит в полости «А» ротора компрессора.

Одновременно в полости «Б» ротора компрессора происходит процесс сжатия (линия 2-3-4-5). В точке 3 в газораспределительном механизме (ГРМ) открывается впускное окно и рабочая смесь устремится в полость камеры сгорания. Общий объем камеры сжатия увеличивается на объем камеры сгорания ($V_{кс}$) – линия 3-4. Далее идет процесс уменьшения объема полости «Б» ротора

компрессора (линия 4-5) и остается только объем $V_{кс}$.

В точке 5 происходит воспламенение от искры зажигания рабочей смеси в полости камеры сгорания.

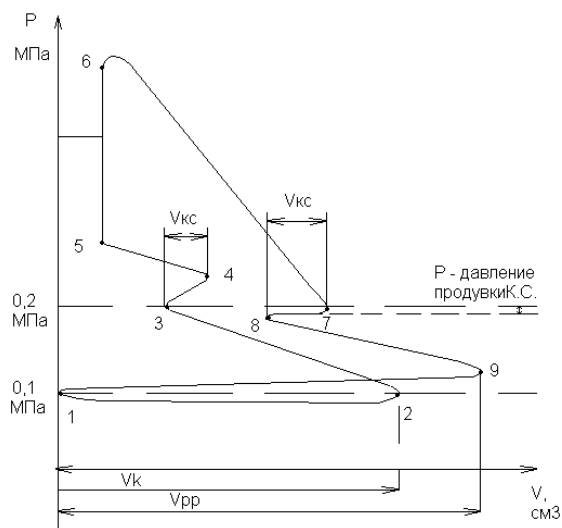


Рисунок 7 – Диаграмма рабочего цикла ТКД: 1-2 – линия впуска; 2-3-4-5 – линия сжатия; 5-6-7-8-9 – линия рабочего хода; 9-1 – линия выпуска

Линия 5-6 – это линия возрастания давления в полости камеры сгорания. В точке 6 открывается выпускное окно ГРМ и горящая рабочая смесь устремляется в полость «В» воздействуя на выступ рабочего ротора и заставляет его вращаться. На диаграмме линия 6-7-8-9 – это линия рабочего хода. В точке 7 происходит закрытие выпускного окна и рабочий объем уменьшается на объем камеры сгорания. Линия 8-9 – это продолжение рабочего хода, но уже только в полости рабочего ротора турбины (без объема камеры сгорания).

Давление ΔP – это разность давлений между давлением в полости «Б» и давлением в полости «В» в момент, когда открыто впускное и выпускное окна камеры сгорания. Этот момент называется продувкой камеры сгорания, когда рабочая смесь из полости «В» ротора компрессора вытесняет из камеры сгорания сгоревшую рабочую смесь, очищая тем самым камеру сгорания.

Одновременно с рабочим ходом, происходящим в полости «В» рабочего ротора турбины, с другой стороны выступа ротора (полость «Г») происходит процесс выпуска отработавших газов (линия 9-1 на диаграмме). Следует отметить, что все четыре такта

(впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск) в ТКД происходит за 1 оборот вала двигателя.

Примечание: два такта (впуск и сжатие) происходит одновременно в роторе компрессора, а два других (рабочий ход и выпуск) – в рабочем роторе турбины.

Газораспределительный механизм в ТКД реализован с помощью перепускных окон, два впускных и два выпускных окна, расположенных во вращающемся цилиндре и в камере сгорания. В каждой из пар окон присутствует одно подвижное и одно неподвижное окно.



Рисунок 8 – Суммарный график фаз газораспределения: $t_1 - t_2$ – сжатие рабочей смеси в полости ротора компрессора; $t_2 - t_4$ – сжатие рабочей смеси в камере сгорания; t_2' – точка открытия впускных окон 2-го цикла (начало повторения циклов); $t_3 - t_5$ – рабочий ход; t_5 – точка закрытия выпускных окон; $t_2' - t_5$ – продувка камеры сгорания

Суммарный график фаз газораспределения складывается из двух графиков: графика компрессора и графика турбины. Между точками 4 и 5 имеется «угол продувки» камеры сгорания. Это угол при котором начинают открываться впускные окна и еще полностью не закрыты выпускные окна. Величина угла продувки может определяться либо расчетным, либо опытным путем и будет зависеть от частоты вращения вала двигателя и конструкции впускных и выпускных окон.

В настоящее время ведется изготовление рабочей модели данной конструкции двигателя. На первом этапе изготовлен компрессор двигателя. Ведется доработка конструкции камеры сгорания и газораспределительного механизма.

На рисунке 9 представлена модель компрессора ТКД. На этой модели были проведены предварительные испытания компрессора, которые подтвердили его работоспособность. Так при частоте вращения вала двигателя 1000 мин^{-1} , практически без уплотнений, компрессор двигателя «выдает» 0,6 МПа.



Рисунок 9 – Компрессор турбокомпрессорного двигателя

Изобретенный в АлтГТУ турбокомпрессорный двигатель внутреннего сгорания обладает, на наш взгляд, целым рядом преимуществ по сравнению с традиционным поршневым двигателем, а именно:

- более высокий КПД за счет снижения потерь на возвратно-поступательное движение основных деталей двигателя;
- все четыре такта работы двигателя происходят одновременно за один оборот вала двигателя, т.е. на угле поворота вала равном 360° , что дает право говорить о меньших «бесполезных» затратах данного двигателя;
- технологичность изготовления его основных деталей, т.к. основные детали двигателя имеют форму тел вращения;
- минимум деталей, совершающих возвратно-поступательное движение;
- конструкция двигателя позволяет иметь различные рабочие объемы у компрессора и турбины, что предполагает повышение эффективности работы двигателя и повышение его экологичности;
- двигатель может быть спроектирован любой мощности, путем увеличения его габаритов или увеличения числа пар ротор-турбина.

Перечисленные выше достоинства дают право говорить о перспективности турбокомпрессорного двигателя внутреннего сгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2193676 Российская Федерация, МНК⁷. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2001.
2. Пат. 2271457 Российская Федерация, МНК⁷. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2004.
3. Пат. 2315875 Российская Федерация, МНК⁷. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2006.
4. Пат. 2330973 Российская Федерация, МНК⁷. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2008.