

УДК 621.43

**ДИСКОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ КАСКАДНО-ТЕПЛОВОГО СЖАТИЯ**

*Антоненко Н.А., аспирант, Прокопюк В.В., магистр (ТЛ881м),  
280376@rambler.ru, Данилейченко А.А., к.т.н., доцент  
Луганский национальный университет имени В. Даля, Луганск,  
Луганская народная республика*

**Ключевые слова:** каскадный обменник давления, реактивная струя, массообмен, дисковый двигатель реактивного вращения.

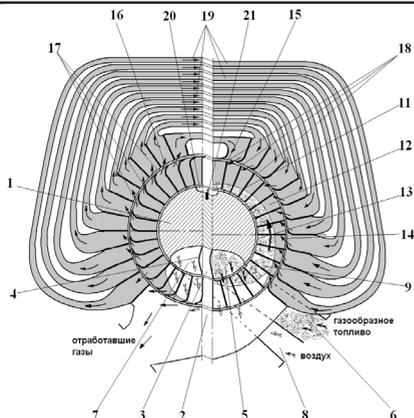
*Изложены теоретические предпосылки создания дискового двигателя реактивного вращения на базе каскадного обменника давления. Использование принципов каскадного обмена давлением позволяет значительно увеличить давление предварительного сжатия заряда, а также преобразовать часть расширяющихся продуктов сгорания в полезную работу крутящего момента двигателя.*

**Введение.** Значительный скачек улучшения показателей тепловых машин различного назначения может быть достигнут применением принципов каскадного обмена давлением для сжатия газозвудушных сред в рабочем цикле установки. Такое сжатие реализуют каскадные обменники давления (КОД), представляющие собой новое поколение волновых обменников давления с преимущественно статическим характером прямого взаимодействия сжимающей и сжимаемой сред. Рабочий цикл КОД отличается высоким КПД (до 85...87%) и нечувствительностью к удалению эксплуатационного режима от расчетных условий. Энергетическая эффективность КОД реализуется в значительном превышении расхода сжимаемого воздуха относительно сжимающей среды, тем в большей степени, чем выше температура последней. Данное свойство «умножения расхода» раскрывает перспективу создания на базе КОД принципиально новых устройств теплопреобразующих машин широкого назначения: тепловых компрессоров и генераторов газа [1], газотурбинных двигателей [2], систем наддува высокофорсированных двигателей [3]. В наибольшей степени потенциал каскадного обменника давления может быть реализован в рабочем цикле дискового двигателя реактивного вращения (ДРВ КОД) (рис.1.) [4].

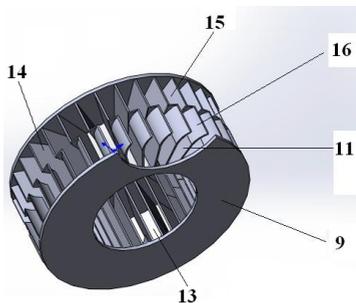
**Цель работы** заключается в изложении теоретических предпосылок создания дискового двигателя реактивного вращения на базе каскадного обменника давления.

**Материалы исследований.** Сущность ДРВ КОД поясняется рисунками 1-6.

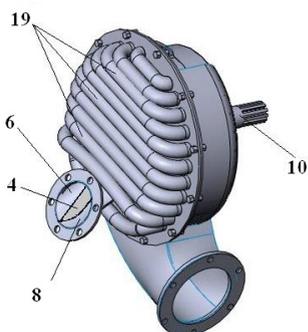
Дисковый двигатель каскадного обмена давлением содержит статор 1, на внутренней цилиндрической поверхности которого размещено окно 2 отвода газов, а на наружной цилиндрической поверхности - окно 3 подвода топливовоздушной смеси, разделенное перегородкой 4 на сектор 5, сообщенный с каналом 6



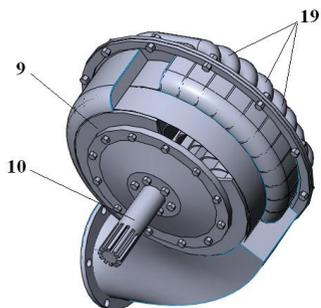
**Рисунок 1 - Принципиальная схема ДРВ КОД**



**Рисунок 2- Ротор ДРВ КОД**



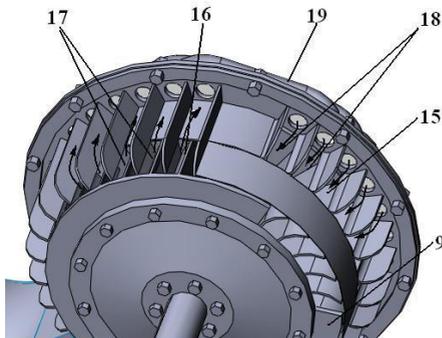
**Рисунок 3 - Общий вид со стороны массообменных каналов**



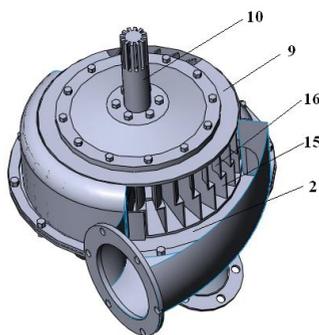
**Рисунок 4 - Вид ДРВ КОД со стороны вала отбора мощности**

подвода горячей смеси и сектор 7 – с каналом 8 подвода воздуха из атмосферы, ротор 9 с валом 10 отбора мощности, снабженный перегородками 11, образующими напорообменные ячейки 12 с входными 13 и выходными 14 сечениями, соответственно расположенными на его внутренней и наружной поверхности.

Часть каждой из перегородок 11 со стороны наружной цилиндрической поверхности ротора 9 разделена на два лепестка, первый 15 лежит в одной плоскости с нижней частью перегородки 11, другой 16 загнут в направлении, противоположном вращению ротора 9.



**Рисунок 5 - Окна массообменных каналов и их сообщение с ротором**



**Рисунок 6 - Устройство окна отвода газов**

На внутренней цилиндрической поверхности статора 1 по обе стороны от окна 2 отвода газов размещен ряд входных 17 и выходных 18 окон, попарно сообщенных между собой симметрично относительно окна 2 отвода газов посредством массообменных каналов 19, окна 17, расположенные по одну сторону окна 2 отвода газов, охватывают часть ротора 9 с изогнутыми лепесками 16, окна 18, расположенные по другую сторону окна 2 отвода газов по крайней мере охватывают часть ротора 9 с плоскими лепестками 15. На наружной цилиндрической поверхности статора 1 оппозитно окну 3 подвода топливовоздушной смеси выполнено углубление 20 с размещенным в нем источником воспламенения смеси 21.

Дисковый двигатель каскадного обмена давлением работает следующим образом.

При вращении ротора 9 каждая из ячеек 12, заключенная между перегородками 11, наполненная предварительно сжатой топливовоздушной смесью и сжимающими газами, сообщается с углублением 20 статора 1, где в результате подачи искры источником воспламенения 21 формируется фронт пламени, распространяющийся вдоль ячейки, в локальной области сосредоточения горючей смеси. В результате выгорания топлива давление и температура газов в ячейке 12 повышаются. В процессе дальнейшего вращения ротора 9 при сообщении рассматриваемой ячейки 12 с входными окнами 17 горячие газы, омывая загнутые лепестки 16 перегородок 11 истекают в массообменные каналы 19 под острым углом к вектору окружной скорости, вследствие чего создается основной крутящий момент двигателя. По мере истечения газов в массообменные каналы 19 давление в ячейке 12 уменьшается и в момент, предшествующий подключению

ячейки 12 к окну 2 отвода газов, в ней сохраняется некоторое остаточное давление, превышающее атмосферное. При этом в каждом массообменном канале 19 устанавливается свое избыточное давление с максимальным значением в канале 19, расположенным непосредственно у источника подвода теплоты, и минимальным – в канале, расположенным непосредственно у окна 2 отвода газов. Благодаря этому перепад давлений в выходном сечении 14 ячейки 12 при ее сообщении с каждым из массообменных каналов 19 не превышает надкритического (сверхзвукового) уровня, что обеспечивает снижение потерь затопления реактивной струи и, в конечном счете, повышение к.п.д. двигателя.

При сообщении ячейки 12 с окном 2 отвода газов горячие газы с избыточным давлением, омывая лепестки истекают из выходных отверстий 14 под острым углом в атмосферу, вследствие чего создается дополнительный крутящий момент реактивного истечения струи. В момент, когда давление в ячейке 12 приближается к атмосферному, последняя своим входным отверстием 13 первоначально сообщается с сектором 7 окна 3 подвода топливовоздушной смеси. Атмосферный воздух под действием разряжения, создаваемого центробежными силами, через канал 8 поступает в ячейку 12, замещая выходящие через окно 2 отвода газов отработавшие газы. Далее в процессе вращения ротора 9 ячейка 12 сообщается с сектором 5, что сопровождается поступлением в ячейку 12 горючей смеси через канал 6 подвода горючей смеси. Благодаря разделению перегородкой 4 потоков свежего заряда в процессе продувки ротора 9 исключаются утечки горючей среды через окно 2 отвода газов, поскольку замещение отработавших газов в ячейке 12 осуществляется непосредственно атмосферным воздухом, первичная порция которого выполняет функции транзитной среды. После разобщения с окнами 2 и 3 одна часть объема ячейки 12 заполнена воздухом, другая, большая, – горючей смесью.

В процессе дальнейшего вращения ротора 9 рассматриваемая ячейка 12 своим выходным отверстием 14 последовательно сообщается с выходными окнами 18 массообменных каналов 19, охватывающими часть ротора 9 с плоскими лепестками 15, в результате чего в нее поступают газы из смежных относительно каждого из каналов 19 ячеек. Давление и температура газов в ячейке 12 повышаются. Таким образом, предварительное сжатие свежего заряда в ячейках осуществляется за счет энергии расширения газов в смежных ячейках 12 ротора 9 в процессе прямого каскадного массообмена рабочих сред в индикаторном цикле двигателя. В момент, предшествующий сообщению ячейки 12 с углублением 20 источника воспламенения 21, большая часть ее объема заполнена сжимающими газами, в то время как горючая смесь сосредотачивается в периферийной зоне ячейки 12, со стороны размещения источника воспламенения 21. В процессе предварительного сжатия рабочего тела горючая смесь в

ячейке 12 дополнительно подогревается за счет контакта со сжимающей средой и теплообмена с перегородками 11. Благодаря этому, а также локализации горячей среды в зоне контакта с источником воспламенения 21 обеспечиваются благоприятные условия для своевременного выгорания топлива, в том числе – обедненного природного газа (метана). Часть каждой из перегородок 11 со стороны наружной цилиндрической поверхности ротора 9 разделена на два лепестка, первый 15 лежит в одной плоскости с нижней частью перегородки 11, другой 16 загнут в направлении, противоположном вращению ротора 9. Протекание рассмотренного цикла во всех ячейках 12 ротора 9 в своей совокупности обеспечивает непрерывный рабочий процесс двигателя с передачей крутящего момента к валу отбора мощности 10 [4].

**Заключение.** Повышение КПД и расширение области эффективной работы двигателя обеспечивается благодаря следующим факторам.

Основное сжатие свежего заряда осуществляется за счет рекуперативного использования энергии расширяющихся газов в процессе каскадного массообмена между смежными ячейками участков сжатия и расширения. Данный процесс обеспечивает возможность существенного повышения степени предварительного сжатия заряда в широкой области эксплуатационных режимов, что способствует увеличению термического КПД цикла.

В двигателе на базе КОД истечение большей части реактивных струй осуществляется не в атмосферу, а в массообменные каналы статора. Снижение перепадов давлений в реактивных соплах до подкритического уровня сопровождается уменьшением потерь затопления струи. При этом остаточная энергия реактивной струи, не преобразованная в работу крутящего момента, не теряется вполне, поскольку полезно используется в виде потоковой субстанции в массообменных каналах, способствуя дополнительному повышению предварительного сжатия заряда без увеличения количества подведенной теплоты.

Благодаря тому, что топливо-воздушная смесь в конце процесса сжатия сосредотачивается в локальном объеме со стороны источника воспламенения, частично смешивается с горячими газами и подогревается стенками ячеек, создаются благоприятные условия для своевременного сгорания бедных топлив, в том числе, природного метана с невысокой степенью очистки.

Несмотря на сложность газодинамических процессов рабочего цикла, конструкция двигателя проста и лаконична, поскольку содержит лишь две подвижно-сопряженные детали. Отсутствие дискретно управляемых органов газораспределения, вытеснителей и систем охлаждения обуславливает надежность и простоту эксплуатации.

Согласно результатам расчетных исследований удельная мощность ДРВ КОД составляет от 3 до 4,8 кВт/кг. Большие значения в указанном диапазоне

соответствуют двигателям большей размерности. Невысокая стоимость изготовления и надежность в сочетании с малыми габаритами и весом дают основание ожидать интерес к дисковым двигателям реактивного вращения КОД со стороны производителей современной энергоавтономной техники и, прежде всего, летательных аппаратов, бронетехники, средств малой механизации, мотоциклов и гоночных автомобилей.

*Библиографический список:*

1. Krajniuk, A.I. Thermal compressor of cascade exchange by pressure / Silesian university of technology publication faculty of transport. I International Scientific Conference. Transport problems. - Katowice-Kroczyce: Wydawnictwo Silesian university of technology publication faculty of transport, №17, 2009. P.186-191.
2. Крайнюк, А.И. Газотурбинный двигатель каскадного обмена давлением Крайнюка // Газотурбинные технологии. Специализированный информационно-аналитический журнал. Рыбинск, 2010. №10. С.32-39.
3. Крайнюк, А. И., Алексеев С.В. Система наддува ДВС с глубоким охлаждением наддувочного воздуха // Двигатели внутреннего сгорания, Научно-технический журнал.- Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ», 2009. №1. С.57-61.
4. Патент №104798 Украины, МПК6 F 03 G 7/06. Дисковый двигун каскадного обмена давлением Крайнюка / А.И.Крайнюк, А.А.Данилейченко, А.А. Крайнюк; № а201211649; заяв. 09.10.2012; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 8 с.

## **DISC MOTOR OF CASCADE HEAT COMPRESSION**

***Antonenko N.A., Prokopuk V.V., Danileychenko A.A.***

***Key words:*** cascade pressure exchanger, jet stream, mass transfer, jet engine of rotation.

*The theoretical prerequisites for creating a disk engine of a rotational rotation based on a cascade pressure exchanger are described. Using the principles of cascade pressure exchange allows you to significantly increase the pressure of the pre-compression charge, as well as convert some of the expanding combustion products into useful work of the engine torque.*