

УДК 621.43

А.И. КРАЙНЮК

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ДИСКОВОГО ДВИГАТЕЛЯ РЕАКТИВНОГО ВРАЩЕНИЯ КАСКАДНОГО ОБМЕНА ДАВЛЕНИЕМ

Изложены теоретические предпосылки создания дискового двигателя реактивного вращения на базе каскадного обменника давления. Рассмотрены особенности рабочего процесса создания дискового двигателя реактивного вращения на базе каскадного обменника давления в сопоставлении с волновым дисковым двигателем на базе волнового обменника давления. В частности показано, что использование принципов каскадного обмена давлением позволяет значительно увеличить давление предварительного сжатия заряда, а также снизить потери расширяющихся продуктов сгорания в полезную работу крутящего момента двигателя.

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

Введение

В настоящее время возрастает потребность в сверхкомпактных и простых по конструкции двигателях внутреннего сгорания, работающих на различных видах углеводородного топлива, в том числе природном газе (метане) с невысокой степенью очистки.

Получившие наибольшее распространение поршневые ДВС практически исчерпали резерв значительного улучшения показателей удельной мощности и топливной экономичности. Кроме того, наличие большого числа прецизионных деталей, сложных систем и агрегатов обуславливает высокую стоимость их производства и обслуживания.

В теплоэнергетических машинах, преобразующих теплоту в механическую работу основную часть внутренней работы составляет сжатие газообразного тела в цикле установки. Сжатие заряда посредством механического вытеснителя (поршня или лопаток рабочего колеса) термодинамически не рационально и сопряжено с усложнением конструкции двигателя. Новым направлением развития тепловых машин широкого назначения является использование волновых или каскадных обменников давления в качестве основного или дополнительного агрегата сжатия воздушного заряда. В обменниках давления осуществляется прямое преобразование энергии расширяющихся газов в располагаемую энергию сжатого воздуха в процессе непосредственного контакта между сжимающей и сжимаемой средами.

Первая успешная попытка применения волнового обменника (ВОД) в качестве первой ступени сжатия была осуществлена Claud Seippel из компа-

нии Brown Boverg в Швейцарии на газотурбинном двигателе (ГТД) локомотива. В начале 60-х годов в компании Ruston-Hornsby под руководством Рона Пирсона была создана и испытана волновая роторная турбина (ВРТ) в дисковом роторе которого спиралевидные каналы одновременно служили камерами сгорания для смеси воздуха и керосина. В начале 2000-х годов ряд известных исследовательских центров таких как NASA, Rolls-Royce, Indiana University, Purdue University Indianapolis, компания ABB, Michigan State Universti возобновили интерес к интегрированию ВОД различной конфигурации в мини и микро ГТД [1 – 6].

Следует, впрочем, отметить, что заметный эффект интеграции ВОД в рабочий цикл ГТД достигается только в том случае, если к.п.д. процессов сжатия и расширения рабочих тел в волновом обменнике превышает к.п.д. этих процессов в турбокомпрессорной части установки. Кроме того, использование ВОД в качестве верхней ступени («Top stage») не устраняет, а в ряде случаев усугубляет главный недостаток газотурбинного двигателя – неудовлетворительную эффективность на переходных и частичных режимах. Ярко выраженный волновой характер обменных процессов в ВОД предопределяет чувствительность его расходных характеристик к термодинамическим параметрам рабочих сред в газораспределительных окнах и частоте вращения ротора. Отклонение режима работы ГТД от расчетных условий приводит к разрушению настроенной картины взаимодействия волн с газораспределительными окнами и резкому снижению его к.п.д. Но даже в расчетном режиме неизбежная диссипация энергии в процессе формирования и взаимодействия силь-

ных ударных волн в роторе ограничивает к.п.д. лучших образцов ВОД значениями 0,59..0,63 [6].

В 2005 году ученые Мичиганского университета под руководством Н.Мюллера приступили к разработке нового дискового двигателя на базе ВОД. Безусловным преимуществом волнового дискового двигателя (ВДД) по отношению к известным тепловым двигателям является компактность и простота. Авторы проекта утверждают, что демOVERсия мотора, которая будет построена согласно условиям предоставленного агенством APRA-E (Министерством энергетики США) гранта в \$ 2,5 млн. будет иметь к.п.д. не ниже 30%. Вместе с тем реализация высокой экономичности, в рамках заявленной конструкторами ВДД представляется весьма не простой задачей. Наряду с отмеченными особенностями волновых процессов ограничительными факторами рабочего цикла ВДД являются: невысокая степень предварительного сжатия свежего заряда (предположительно менее 2,5); значительные потери затопления реактивных струй в виду высоких (надкритических) перепадов давлений в реактивных соплах; недоиспользование радиальной составляющей скорости реактивных струй.

Значительный скачек улучшения показателей тепловых машин различного назначения может быть достигнут применением каскадного обмена давлe-

нием для сжатия газоздушных сред в рабочем цикле установки. Такое сжатие реализуют каскадные обменники давления (КОД), представляющие собой новое поколение обменников давления с преимущественно статическим характером прямого взаимодействия сжимающей и сжимаемой сред. Рабочий цикл КОД отличается высоким к.п.д. (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 [7], газотурбинных двигателей [8, 9], систем наддува высокофорсированных двигателей [10, 11], воздушных холодильных машин [12 – 15].

Результаты исследований

В наибольшей степени потенциал каскадного обменника давления может быть реализован в рабочем цикле дискового двигателя реактивного вращения (ДРВ КОД) (рис. 1).

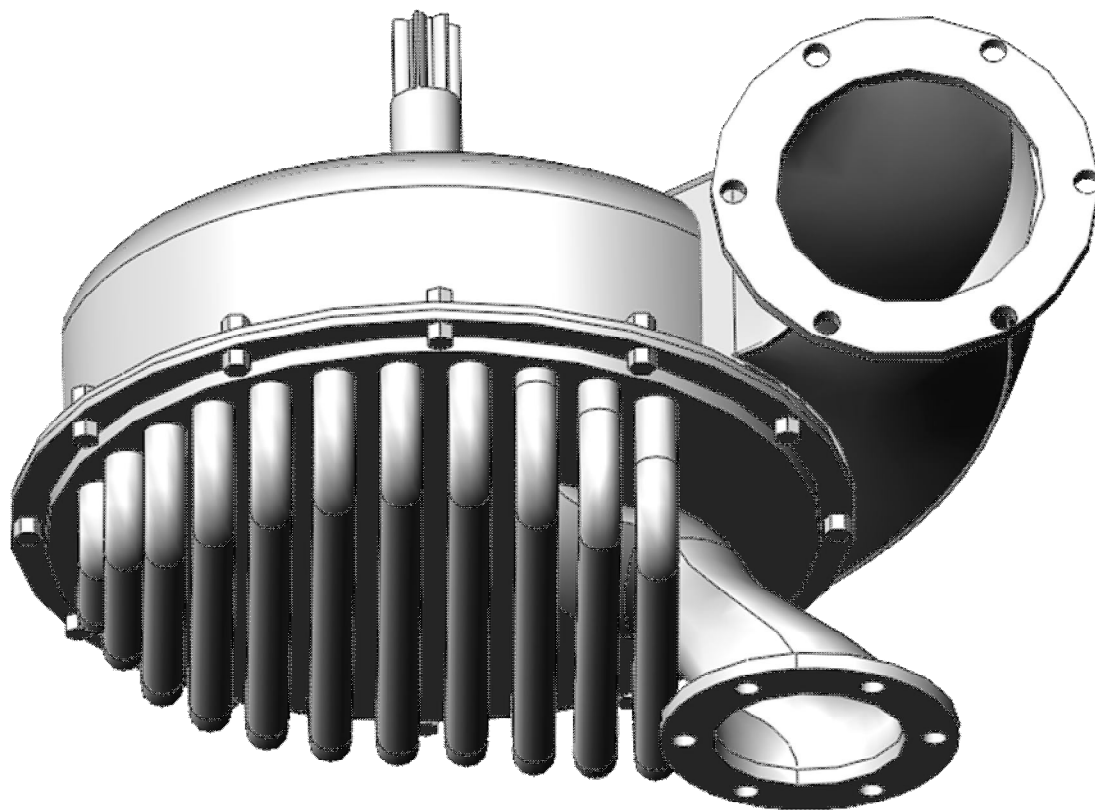


Рис. 1. Общий вид дискового двигателя каскадного обмена давлением

Основная идея использования КОД в качестве базового агрегата двигателя заключается в возможности повышения к.п.д. преобразования энергии горячих газов в располагаемую работу сжимаемого заряда и снижения потерь преобразования энергии расширяющихся продуктов сгорания в полезную работу крутящего момента двигателя. Теоретические предпосылки отмеченного базируются на следующих особенностях рабочего цикла ДРВ КОД:

1. 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, что способствует увеличению термического к.п.д. цикла.

2. В двигателе на базе КОД истечение большей части реактивных струй осуществляется не в атмосферу, как в ВДД, 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, не теряется вполне, поскольку полезно используется в виде потоковой субстанции в массообменных каналах, способствуя дополнительному повышению предварительного сжатия заряда без увеличения количества подведенной теплоты.

3. 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.

Выводы

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 обменника.

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 про-

изводителей современной энергоавтономной техники и, прежде всего, летательных аппаратов, бронетехники, средств малой механизации, мотоциклов и гоночных автомобилей.

Литература

1. Akbari, P.A. *Performance Enhancement of Microturbine Engines Topped With Wave Rotors [Text]* / P.A. Akbar, M.R. Nalim, N. Muller // *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*. – 2006. – №128(1). – P. 190 – 202.
2. Akbari, P.A. *Review of Wave Rotor Technology and its Application [Text]* / P.A. Akbari, M.R. Nalim, N. Muller // *ASME O. Eng. Gas Turbines Power*. – 2006. – №128(10). – P. 717 – 734.
3. Benini, E. *Centrifugal Compressor of A 100KW Microturbine [Text]* / E. Benini, A. Toffolo, A. Lazzaretto // *ASME Paper GT2003-38152*. – 2003.
4. Rogers, C. *Some Effects of Size on the Performance of Small Gas Turbine [Text]* / C. Rogers // *ASME Paper GT2003-38027*. – 2003.
5. Welch, G.E. *Overview of Wave-Rotor Technology for Gas Turbine Engine Topping Cycles [Text]* / G.E. Welch // *The Institution of mechanical Engineers London*. – 2000. – P. 2 – 17.
6. Крайнюк, О.И. *Системы газодинамического наддува [Текст]: моногр. / О.И. Крайнюк. – Луганськ: Вид-во. Східноукраїнського нац. унів-ту ім. В. Даля, 2000. – 224 с.*
7. Krajniuk, A.I. *Thermal compressor of cascade exchange by pressure [Текст]* / A.I. Krajniuk // *Silesian university of technology publication faculty of transport. I International Scientific Conference. Transport problems, Katowice-Kroczyce. – 2009. – №17-19. – P. 186 – 191.*
8. Крайнюк, А.И. *Газотурбинный двигатель каскадного обмена давлением Крайнюка [Текст]* / А.И. Крайнюк // *Газотурбинные технологии. Специализированный информационно-аналитический журнал. – Россия, Рыбинск, Изд-во “Медиа гранд”. – 2010. – №10. – С. 32 – 39.*
9. Крайнюк, А.И. *Повышение эффективности газотурбинного двигателя каскадного обмена давлением утилизацией теплоты отработавших сред [Текст]* / А.И. Крайнюк, А.А. Крайнюк, М.А. Брянцев // *Вестник двигателестроения, Научно-технический журнал. – Запорожье: АОА «Мотор Сич», 2011. – №2. – С. 91-100.*
10. Крайнюк, А.И. *Система наддува ДВС с глубоким охлаждением наддувочного воздуха [Текст]* / А.И. Крайнюк, С.В. Алексеев, А.А. Крайнюк // *Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал НТУ «ХПИ». – Х., – 2009. – №1. – С. 57 – 61.*
11. Крайнюк, А.И. *Результаты испытаний системы наддува каскадного обмена давлением с глубоким охлаждением наддувочного воздуха [Текст]* / А.И. Крайнюк, С.В. Алексеев, А.С. Ковтун // *Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – №10(87). – С. 168 – 172.*

12. Крайнюк, А.И. Воздушная холодильная установка Крайнюка [Текст] / А.И. Крайнюк, М.А. Брянцев // *Альтернативный киловатт. – Россия, Рыбинск: Изд-во “Медиа гранд”. – 2010. – №5. – С. 40 – 45.*

13. Крайнюк, А.И. Новый принцип организации рабочего процесса рефрижераторной установки транспорта на базе каскадного обменника давления Крайнюка [Текст] / А.И. Крайнюк, М.А. Брянцев, А.А. Крайнюк // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: Вид-тво СХУ. – 2010. – № 5 (147), Ч.1. – С. 168 – 177.*

14. Крайнюк, А.И. Холодильная установка каскадно-рекуперативного обмена давлением Крайнюка [Текст] / А.И. Крайнюк, М.А. Брянцев // *Вагонный парк. Междунар. информ. Научн.-техн. журн. – Х.: Изд-во Подвижной состав корпорации „Техностандарт”, 2010. – № 11. – С. 25 – 30.*

15. Крайнюк, А.И. Новые схемы и принципы организации рабочих процессов теплоэнергетических машин [Текст] / А.И. Крайнюк // *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: Вид-цтво СХУ. – 2011. – № 12(166). Ч.1. – С. 94 – 106.*

Поступила в редакцию 1.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., декан факультета «Нанoeлектроника и нанотехнологии» А.П. Кравченко, Восточноевропейский национальный университет имени Владимира Даля, Луганск.

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ДИСКОВОГО ДВИГУНА РЕАКТИВНОГО ОБЕРТАННЯ КАСКАДНОГО ОБМІНУ ТИСКОМ

О.І. Крайнюк

Викладено теоретичні передумови створення дискового двигуна реактивного обертання на базі каскадного обмінника тиску. Розглянуто особливості робочого процесу дискового двигуна реактивного обертання на базі каскадного обмінника тиску у зіставленні із хвильовим дисковим двигуном на базі хвильового обмінника тиску. Зокрема показано, що використання принципів каскадного обміну тиском дозволяє значно збільшити тиск попереднього стиску заряду, а також знизити втрати продуктів згорання, що розширюються, в корисну роботу крутного моменту двигуна.

Ключові слова: каскадний обмінник тиску, хвильовий обмінник тиску, реактивний струмінь, масообмін, дисковий двигун реактивного обертання.

PRE-CONDITIONS OF CREATION OF DISK ENGINE REACTIVE ROTATIONS OF CASCADE EXCHANGE PRESSURE

A.I. Krajniuk

The theoretical premises of the making the disc engine of the reactive rotation are stated on the base of the cascade exchanger of the pressure. The considered particularities worker process the disc engine of the reactive rotation are stated on the base of the cascade exchanger of the pressure in collation with wave disc engine on the base of the wave exchanger of the pressure. Is it in particular shown that use principle cascade exchange by pressure allows vastly to enlarge the pressure of the preliminary compression of the charge, as well as reduce the loss of the expanding products of combustion in useful work turning moment of the engine.

Key words: cascade exchanger of the pressure, wave exchanger of the pressure, the reactive stream, mass-transfer, disc engine of the reactive rotation.

Крайнюк Александр Иванович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Восточноевропейского национального университета им. В. Даля, Луганск, Украина, e-mail: ljangar@rambler.ru.