

УДК 621.427

А.Ж. МУРЗАГАЛИЕВ, В.Г. НЕКРАСОВ*Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан***ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТУРБИНЫ ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ**

Рассмотрен подход к конструированию винтовых двигателей глубокого расширения. Применение вращательного движения позволяет исключить ряд недостатков, присущих поршневым двигателям. Среди ротационных двигателей известны лопаточные машины – турбины. А также винтовые двигатели с цилиндрическими роторами. Оба типа двигателей не решают проблемы получения механической мощности, характерной для автотракторных двигателей в пределах 100 кВт. Решением может быть винтовой двигатель при высоком начальном давлении газов и их глубоком расширении. Профилирование винтовой поверхности для них производится не по зависимостям для шестеренных передач, а по типу резьбовых соединений. Показан принципиальный подход к конструированию таких двигателей.

Ключевые слова: тепловые двигатели, объемные двигатели, поршневые двигатели, винтовые двигатели, турбина объемного расширения.

Введение

В настоящее время в автомобильном транспорте повсеместно используется двигатель внутреннего сгорания поршневого типа. Недостатки поршневых двигателей хорошо известны. Поршень, движущийся в гильзе цилиндра, подвергается воздействию боковых сил, что приводит к неравномерному износу гильзы. Импульсный режим сгорания создает ударные силы на подшипники механизма преобразования движения. Высокая частота вращения и малый период, в который цикловая доза топлива должна сгореть, негативно отражаются на экономических и экологических показателях, требуя применения сложной топливной аппаратуры. Использование гильзы цилиндра, смазываемой маслом, приводит к угару масла, повышенному его расходу, токсичным выбросам с отработанными газами.

В технике известен факт, согласно которому вращательный принцип рабочих органов машин имеет преимущества перед периодическими процессами. В двигателестроении вращательный принцип реализуется в ротационных двигателях. Ротационные двигатели (по терминологии того времени – коловратные) появились еще в XVIII веке в период применения паровых машин, т.е. до появления двигателей внутреннего сгорания. Но даже при относительно низких параметрах пара они не смогли составить конкуренции поршневым паровым машинам ввиду проблематичности уплотнения вращающихся рабочих органов в таких двигателях.

Ротационные двигатели бывают нескольких типов: с кольцевыми камерами и отсеканием объема замыкающими элементами, пересекающие кольцевые камеры, лопатные с выдвижными лопастями (шиберами), циклоидного (трохоидного) типа с пла-

нетарным вращением ротора, с замыканием объема при помощи двух или нескольких вращающихся тел при помощи зубчатых элементов (шестеренные, типа Рутс, винтовые).

В середине XX века был создан роторно-поршневой двигатель, сегодня известный как ванкель. В ванкеле благодаря планетарному движению трехгранного ротора за один оборот вала реализуется четырехтактный цикл, т.е. выпуск воздуха, его сжатие. Сгорание топлива и расширение газов, выпуск отработавших газов, причем такты происходят в разных секторах корпуса. Следовательно, в ванкеле реализовано вращение, но сгорание происходит по принципу периодического чередования тактов. В связи с ограниченной степенью сжатия ванкель сегодня не может конкурировать с быстроходными поршневыми дизельными двигателями.

Чисто ротационным двигателем является газовая турбина. Но в силу кинетического принципа преобразования энергии газовые турбины эффективны только при больших мощностях, более 3-5 МВт.

1. Постановка задачи

Для относительно небольших мощностей, характерных для автотракторных двигателей по причине небольшого объема газов и их высоких параметров целесообразно применение объемного типа двигателей. Наиболее совершенным по способу организации процесса двигателем объемного типа ротационного принципа действия является винтовой двигатель. В винтовой машине, как компрессоре, так и детандере имеется два или более роторов с винтовой навивкой. Газ замыкается в межвитковых камерах, перекрытие которых происходит при контакте винтовых поверхностей основного ротора и ротора-сателлита.

В настоящее время в качестве объемных машин используются компрессоры винтового типа. Подобный принцип использования винтовых элементов применяется в винтовых двигателях. В последние годы винтовые двигатели начали использоваться в качестве двигателей для электрогенерирующих надстроек в паровых котельных в котлах давлением 1,3 МПа, превращая обычную котельную в небольшую ТЭЦ (рис. 1) [1].

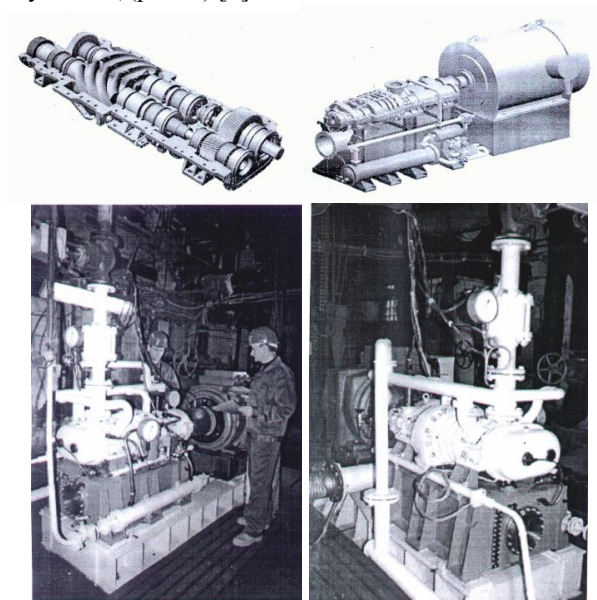


Рис. 1. Винтовой двигатель с открытым корпусом (вверху слева), винтовой энергоагрегат (вверху справа), винтовой агрегат мощностью 250 кВт, работающий на паре в котельной (внизу)

В винтовой расширительной машине с цилиндрическими роторами степень расширения не превышает 4,0 – 4,5. Поэтому после винтового двигателя давление пара составляет 0,5 – 0,6 МПа и отработавший в двигателе пар используется в теплоснабжении. Сегодня известно применение винтовых двигателей на паре мощностью 250, 1000, 2000 кВт. Это направление активно развивается в связи с созданием локальных источников электрической и тепловой энергии.

Для более глубокого использования энергии известно применение последовательного включения по пару винтовых двигателей, параллельно работающих на привод единого электрогенератора.

Принцип использования ступенчатого включения машин с цилиндрическими роторами, как в качестве компрессора, так и в качестве детандера, уже не в энергетической установке, а в схеме универсального двигателя рассмотрен в работе [2].

2. Пути решения проблемы

Идея ротационного двигателя при высокой степени расширения высказывалась на протяжении ряда лет в серии предложений и патентов. Уже в годы XXI

века схема такого двигателя была предложена авторами из Москвы в 2003 г. [3]. Авторы предложили схему винтового двигателя, имеющего как винтовой компрессор, так и винтовой детандер. Отличительной особенностью их предложения является выполнение винтового компрессора и винтовой расширительной машины на основе конических роторов (рис. 2).

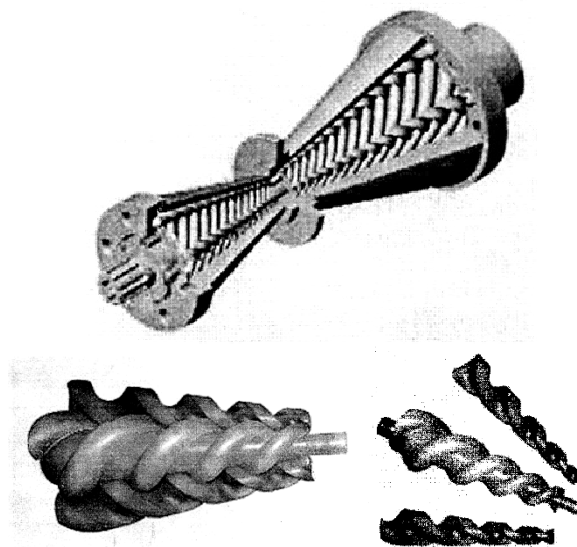


Рис. 2. Схема винтового двигателя (вверху) и вид блока роторов в комплекте (внизу слева) и отдельно основного ротора и роторов-спутников (внизу справа)

За счет конусности роторов объемы межвитковых камер изменяются, обеспечивая либо сжатие газа в компрессорной части, либо расширение газов в детандерной части двигателя. Величина сжатия и глубина расширения зависят от конусности роторов и числа спиральных витков, располагающихся на боковых поверхностях роторов. Идея винтового двигателя глубокого расширения широко обсуждалась в Интернете. Но какого-либо шага к реализации такого двигателя до настоящего времени сделано не было.

Аналогичную схему винтового двигателя глубокого расширения предложили чешские авторы из университетов в Брно и Либереца на международной конференции по изобретательской деятельности в Бельгии в 2006 г (рис. 3) [4]. Комментировал предложение специалист из Японии, который дал высокую оценку предложению чешских авторов. Предложение также осталось на уровне идеи.

Изучение вопроса о принципиальной и технической возможности получения винтовых роторов конической формы, которые могут обеспечить глубокое сжатие или расширение, показало, что каких-либо препятствий для этого нет. Изготовление подобных роторов является инженерной задачей, что было подтверждено в работе [5], где отмечается (цитата) «...В зависимости от вида траектории воз-

можны варианты получения цилиндрических и конических поверхностей, а также винтов с постоянным и переменным шагом».

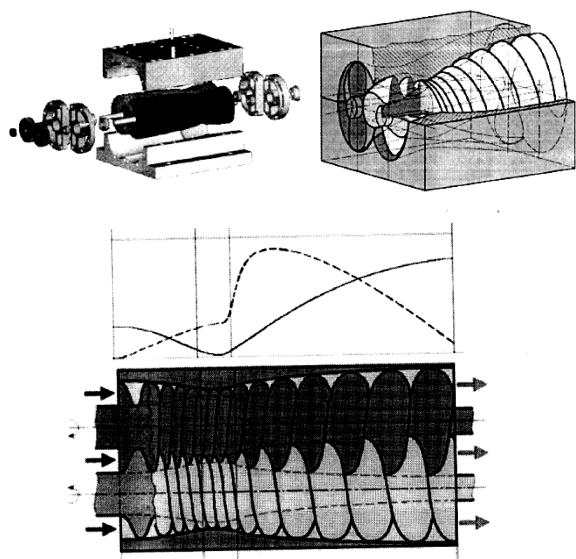


Рис. 3. Схема винтового двигателя (вверху) и график изменения объема межвитковых камер (—) и давления газов (- - -) по предложению чешских авторов

В настоящее время винтовыми машинами с коническими роторами занимаются в Центре роторных компрессоров при кафедре тепловых двигателей Тольяттинского университета (рис. 4) [6].

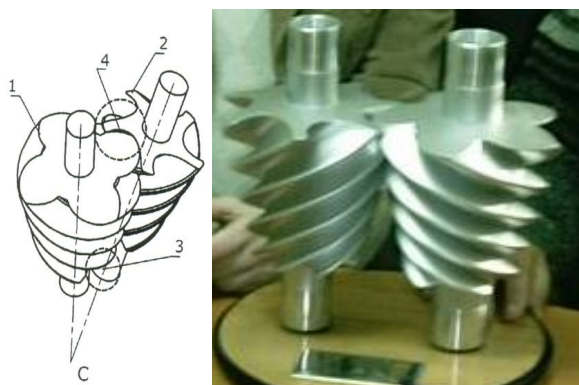


Рис. 4. Схема (слева) и фотография демонстрационной модели конических роторов винтового компрессора (справа) авторов из Тольяттинского университета)

Следует отметить, что авторы, хотя и рассматривают исследуемые ими винтовые машины в качестве преобразователя энергии как для сжатия воздуха (в компрессорах), так и в качестве расширительной машины для выработки механической мощности (экспандера), в основном прорабатывают вопрос применительно к машинам низкого давления, в частности, для нагнетателей дизельных двигателей или систем кондиционирования со степенью изменения объема (степени сжатия или степени расширения) на уровне 1,5.

3. Подход к решению проблемы

Как известно, применяемые сегодня винтовые машины с цилиндрическими роторами появились в процессе эволюции зубчатых зацеплений с наклонными зубьями. По этой причине современная теория винтовых машин строится на основе теории зубчатых (шестеренных) зацеплений [7].

Чтобы перейти в винтовой машине к параметрам традиционных двигателей, т.е. давлению порядка 10 МПа и при глубоком расширении вплоть до атмосферного давления, требуется обеспечить высокую степень расширения, на уровне 30-40 и более. В частности, перепад давления от 10 МПа до атмосферного давления обеспечивается степенью расширения около 40. Такая глубина расширения может быть получена в объемной винтовой машине, аналогичной многоступенчатой турбине. Это достигается за счет увеличения числа межвитковых замкнутых спиральных камер при определенной конусности роторов и достаточной его длине.

Для реализации такого принципа межвитковые винтовые поверхности в виде спиральных камер должны незначительно отклоняться от кольцевых камер. При этом винтовая поверхность в своей основе приближается к типу зубчатых зацеплений, известных в технике как резьбовые зацепления. Рассмотрим трансформацию обычного резьбового зацепления в газовую машину с большим изменением объемов, т.е. с высокой степенью расширения (рис. 5).

На рис. 5 приведены схемы трансформации обычного резьбового зацепления с внутренней резьбовой нарезкой в газовую машину, близкой по конструкции известным винтовым компрессорам с цилиндрическими роторами. Отличительной особенностью такой схемы является большой угол наклона гребней винтовой поверхности к оси роторов, что создает в промежутке между боковыми поверхностями статора и цилиндрической поверхностью роторов с винтовой нарезкой серию замкнутых спиральных камер. Объем этих камер одинаков и при вращении роторов будет происходить перекачка газового рабочего тела от камеры впуска к камере выпуска, но без внутреннего сжатия или расширения.

Чтобы обеспечить сжатие или расширение в спиральных камерах, роторы должны иметь коническую форму (рис. 6). При этом по мере движения газа в замкнутых камерах от одного конца ротора к другому будет происходить сжатие газа или его расширение в зависимости от направления вращения роторов. Изменение объема межвитковых спиральных камер зависит от конусности роторов и числа витков винтовой поверхности, располагающейся на конической поверхности роторов. Степень сжатия или расширения можно оценить отношением объема спиральных камер в области малого основа-

ния конусов в момент их закрытия, к объему подобных камер в области большого основания конусов в момент перед их открытием и сообщением с объемом выпускной камеры машины.

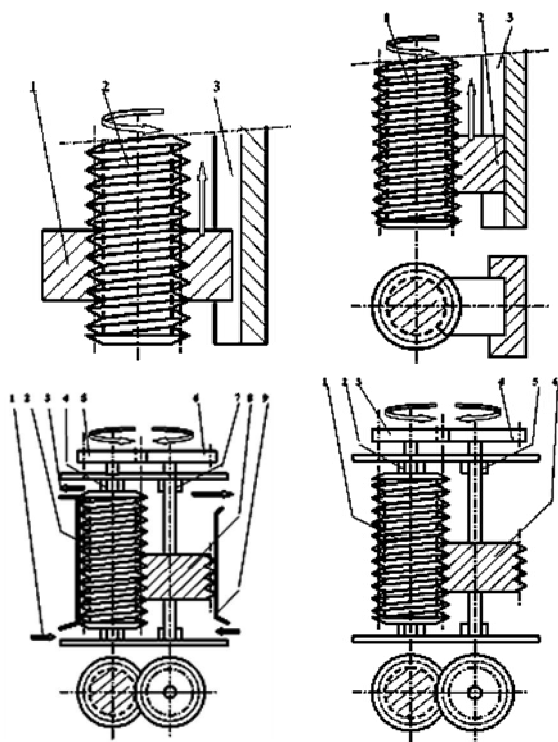


Рис. 5. Трансформация зубчатого резьбового зацепления из механического узла типа передачи «винт-гайка» (вверху слева); переход к одностороннему наружному резьбовому зацеплению (вверху справа); контакт двух цилиндрических роторов с наружной резьбовой поверхностью левого и правого вращения и связью валов при помощи синхронизирующих шестерен (внизу слева); образование винтовой газовой машины при помещении роторов с резьбовым зацеплением в корпус (внизу справа)

Благодаря такому подходу в объемной газовой машине винтового типа возможно получение заданной степени сжатия или расширения.

Переход от принципов зубчатых передач к резьбовым зацеплениям является принципиальным моментом в конструировании винтовых машин с большой степенью изменения объема. Как известно, винтовые компрессоры и известные винтовые машины с цилиндрическими роторами имеют сложный профиль зубьев, причем разной конфигурации для основного ротора и сателлита. Для обеспечения плотности контакта зубья таких объемных машин формируются по сложным кривым второй и большей степени кривизны [7].

Переход к профилированию зубьев винтовой машины по принципу резьбовых зацеплений [8] существенно упрощает выполнение таких поверхностей, так как контакт роторов происходит по по-

верхностям винтовых элементов, поперечное сечение которых выполняется по типу трапеции с прямолинейными боковыми гранями. Это упрощает изготовление роторов и позволяет использовать для выполнения роторов и их винтовой поверхности серийное станочное оборудование.

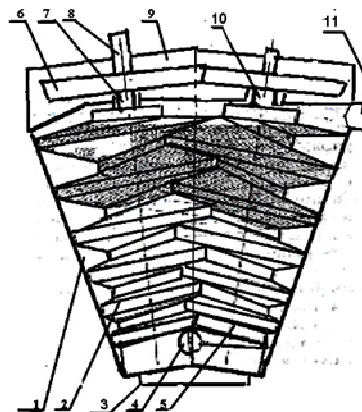


Рис. 6. Принципиальная схема винтовой машины с большой степенью изменения объема:
1 – корпус; 2 – ротор основной; 3 – узел подшипников на узкой стороне роторов;
4 – газовый порт высокого давления; 5 – ротор-сателлит; 6 – синхронизирующие шестерни;
7 – подшипник основного ротора в его широкой части; 8 – силовой вал винтовой машины;
9 – масляный картер шестеренного узла;
10 – подшипник ротора-сателлита в его широкой части; 11 – газовый порт низкого давления

Отличительной особенностью объемных машин с большой степенью изменения объема является обязательное применение синхронизирующих шестерен, так как углы контакта винтовых поверхностей роторов таковы, что не позволяют выполнить силовой контакт между винтовыми поверхностями роторов. Это следует из теории шестеренных и резьбовых зацеплений. В шестернях силовой контакт передается именно через зубчатые элементы. Резьбовые зацепления при большом угле наклона винтовой поверхности к оси детали в большинстве случаев являются самостопорящимися в связи с распределением осевых и тангенциальных сил при коэффициенте трения, имеющего место в подобных зацеплениях. Для согласованного вращения роторов требуется применение синхронизирующих шестерен. Но при этом работа винтового контакта роторов происходит по типу обкатывания без проскальзывания, соответственно, исключается износ контактирующих поверхностей.

В итоге подобный двигатель может рассматриваться как турбина объемного расширения.

4. Задачи на перспективу

Разработка принципиальной схемы объемной винтовой машины глубокого расширения выдвигает

перед разработчиками целую серию задач, которую необходимо решить при конструировании двигателя и его реализации. В частности, одним из главных вопросов является обеспечение плотности роторов в области их взаимного контакта и контакта с конической поверхностью статора и обеспечение малых потерь на трение, а также охлаждение роторов при работе на горячих газах, смазка подшипников, а также комплекс вопросов по технологии выполнения винтовых поверхностей на конических роторах. В принципе, винтовой двигатель глубокого расширения для достижения работоспособности, высокой надежности и эффективности должен пройти путь развития, который прошел поршневой двигатель за свои 200 лет развития, естественно, в более сжатые сроки. Авторы убеждены, что имеются научные и технические предпосылки для решения этого комплекса задач.

Авторы участвуют в работе по конструированию винтовой машины глубокого расширения с коническими роторами. Выполнены расчеты винтового двигателя, разработана технология нарезки винтовой поверхности при использовании серийного металлообрабатывающего оборудования, сконструированы необходимые приспособления. В настоящее время выполняется опытные образцы роторов.

Литература

1. Левин Б.И. Паровые винтовые машины и энергосбережение / Б.И. Левин // *Отраслевая газета ЭНЕРГИЯ-ENERGY*. – М., 11.1989. – № 9-10 / 58.
2. Сотников В. О движущей силе заветов и о последователях, которые способны развивать эту силу / В. Сотников. – Донецк: Норд-Пресс, 2006. – 160 с.
3. Горлов А. Винтовой двигатель внутреннего сгорания / А. Горлов, А. Коньшин, В. Спичкин // *Двигатель*. – 2003. – № 1. – С. 34-36.
4. Perna V. New Motor and TRIZ Evaluation [Электронный ресурс] / V. Perna, B. Bušov, P. Jirman. – Режим доступа: <http://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/epapers/e2007Papers/ePernaETRIA2006/ePernaETRIA2006-070804.html>. – 17.05.2011 г.
5. Получение геометрии винтовой части роторов винтовых компрессоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.comair.ru/info/39.html>. – 17.05.2011 г.
6. Патент РФ № 2372524 Российская федерация, МКИ F04C18/16, F01C1/16. Компрессор-экспандер с коническими роторами / Кальней Е.Д., Максименко В.Н.; заявл. 2007113896/06 от 13.04.2007; опубл. 10.11.2009. – Бюл. № 31.
7. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 206 с.
8. Биргер И.А. Расчет резьбовых соединений / И.А. Биргер. – Л.: Оборонгиз, 1959. – 252 с.

Поступила в редакцию 17.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник В.И. Барков. ТОО НЕТРОЭН, Алматы, Казахстан.

ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ ТУРБИНИ ОБ'ЄМНОГО РОЗШИРЕННЯ

А.Ж. Мурзагалиєв, В.Г. Некрасов

Розглянуто підхід до конструювання гвинтових двигунів глибокого розширення. Застосування обертального руху дозволяє виключити ряд недоліків, властивих поршневим двигунам. Серед ротаційних двигунів відомі машини лопаток – турбіни, а також гвинтові двигуни з циліндровими роторами. Обидва типи двигунів не вирішують проблеми отримання механічної потужності, характерної для автотракторних двигунів в межах 100 кВт. Рішенням може бути гвинтовий двигун при високому початковому тиску газів і їх глибокому розширенні. Профілізація гвинтової поверхні для них проводиться не по залежностях для шестерінчастих передач, а за типом різьбових з'єднань. Показаний принциповий підхід до конструювання таких двигунів.

Ключові слова: теплові двигуни, об'ємні двигуни, поршневі двигуни, гвинтові двигуни, турбіна об'ємного розширення.

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF VOLUME EXPANSION TURBINE

A.G. Murzagaliev, V.G. Nekrassov

The considered approach to construction screw engines of volume expansion. Using rotation o motion allows to exclude the row a defect, inherent piston engine. Amongst rotary engines known blade machines - a turbines and screw engines with cylindrical rotor. Both types of the engines do not solve the problems of the reception to mechanical power typical of automobile and tractor engines with capacity about 100 kW. The decision can be a screw engine under high initial pressure gas and their deep expansion. Grading to screw surface for they are produced not on dependency for gear issues, but on type of the threading join. It is shown principle approach to construction of such engines.

Key words: thermal engines, volume engines, piston engines, screw engines, turbine of volume expansion.

Мурзагалиєв Ахмет Жакеевич – канд. техн. наук, декан технического факультета Актюбинского государственного университета им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: akhmet-zhakievich@mail.ru.

Некрасов Вадим Георгиевич – канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Актюбинского государственного университета им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: vadim.n@nursat.kz.