

## РАЗРАБОТКА ВИНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2011 А. Ж. Мурзагалиев, В. Г. Некрасов

Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан

Выполнен анализ развития ротационных двигателей. В настоящее время среди ротационных двигателей известны роторно-поршневые двигатели, лопаточные турбины, винтовые двигатели. Показано, что в области автотракторных двигателей ни один из этих типов ротационных двигателей не может быть альтернативой существующим сегодня поршневым двигателям. Высокие технико-экономические показатели могут быть получены на ротационном двигателе объемного типа глубокого расширения. Такая конструкция реализуется на основе винтовых элементов конической формы. Идеи расширительной машины глубокого расширения высказывались, но до настоящего времени они не реализованы в промышленном варианте двигателя. В работе обоснован принцип профилирования винтовой поверхности на коническом роторе. Разработана технология изготовления, и из пластмассы выполнена модель ротора в натуральную величину.

*Двигатели, объемные двигатели, поршневые двигатели, ротационные двигатели, роторно-поршневые двигатели, лопаточные турбины, винтовые двигатели, винтовая расширительная машина.*

В технике вращательное движение предпочтительней процессов с периодическим чередованием движений (возвратно-поступательного, колебательного и т.п.). Аналогичное положение существует и в двигателестроении. Идея ротационных двигателей была высказана еще в XVIII веке в период поиска путей создания теплового двигателя. Но исторически сложилось положение, при котором первый тепловой двигатель – паровая машина, появилась и получила развитие в виде поршневого варианта с возвратно-поступательным движением поршня. Ротационные паровые машины кольцевого, шестеренного и других типов создавались и существовали в единичных моделях [1], но конкуренции поршневым машинам они не составили.

Двигатель внутреннего сгорания, появившийся в XIX веке, в своей конструкции копировал поршневую паровую машину. Но процесс поиска работоспособной конструкции ротационного двигателя продолжался и продолжается до настоящего времени. Имеются десятки, если не сотни патентов ротационных двигателей внутреннего сгорания зубчатого (шестеренного), лопатного (шиберного) и др. типов. Иногда в популярных технических изданиях и в Интернете публикуются мнения, как правило, не специалистов в области двигателестроения, об их большой перспективности («Создан двигатель будущего», «Маленький двигатель с большим будущим», «Изобретение, которое

совершит переворот» [2 - 5]. Так, появляется информация о работах и даже испытаниях опытных образцов двигателей кольцевого типа как в России, так и за рубежом, т.е. конструкции, которая была популярной при существовании тихоходных паровых машин [6, 7].

Но до настоящего времени поршневые двигатели прочно удерживают позиции основного и практически единственного типа двигателя автотракторного назначения.

Причина такого положения в том, что жесткие условия в двигателях внутреннего сгорания (высокая температура и большое давление газов, большие частоты вращения и скорости движения рабочих элементов) не позволяют создать надежный механизм для преобразования энергии газов, обеспечивающий высокие технико-экономические показатели при высокой надежности и соблюдении строгих экологических требований. Для примера можно отметить, что при наличии десятков вариантов конструкции лопатных двигателей они нашли применение пока только в приводе средств малой механизации при работе на холодном воздухе с давлением 0,5-0,6 МПа [8].

Промышленные образцы ротационных двигателей все же существуют. Кратко рассмотрим их. В 50-60-х годах XX века Ф. Ванкель разработал роторно-поршневой двигатель (РПД) внутреннего сгорания. В нем вращательное движение рабочих элементов сочетается с периодическим чередованием

фаз процесса, т.е. впуска воздуха, его сжатия, сгорания топлива и расширения газов и выпуска отработавших газов [9]. Доведенный к 70-м годам XX века до промышленного производства, Ванкель не выдержал конкуренции с появившимися к этому времени быстроходными дизельными двигателями, имеющими более высокие технико-экономические показатели. В результате все компании, имевшие лицензию на производство РПД, свернули программы по освоению и расширению их производства. В настоящее время только японская компания «Мазда» производит РПД и автомобили с ними в ограниченном объеме, поставляя их на американский рынок, где, как известно, потребитель не воспринял дизельные двигатели на легковых автомобилях, что обеспечивает нишу для поставки бензиновых автомобилей с РПД [10].

Имеются и чисто ротационные двигатели, которые относятся к двигателям внешнего сгорания, что обеспечивает организацию поточного процесса. Таким двигателем является газовая турбина – газотурбинные установки (ГТУ). Высокие технико-экономические показатели и успехи применения ГТУ в авиации побудили к попытке применить их для автомобилей [11]. Однако при малых мощностях, характерных для автомобилей, ГТУ резко снижают эффективность [12]. Причина этого в кинетическом принципе преобразования энергии газов, наличие необходимых технологических зазоров в проточной части турбины.

Попытка применения ГТУ на автомобиле показала, что в этом секторе и таком мощностном ряду альтернативы двигателям объемного типа нет. Это подтверждает также сопоставление паровых турбин и поршневых машин, показывающее, что если при мощностях 4000 кВт и более удельный расход рабочего тела при аналогичных начальных параметрах различается незначительно (на 20-25%), то при уменьшении мощности до 300 кВт различие составляет 3,6 раза в пользу объемных машин [13]. Таким образом, в мощностном ряду автотракторных двигателей альтернативы объемному принципу нет (что не исключает применение турбин в качестве утилизационных систем).

В области объемных ротационных двигателей с поточным процессом имеется ряд теоретических разработок. Так, имеется вариант двигателей, в которых ротор с винтовой поверхностью обкатывается внутри статора, имеющего соответствующую винтовую поверхность на внутренней стороне [14-16]. Близкое решение предлагается в работах [17, 18].

Теоретически такие двигатели возможны. Однако сложная конструкция взаимодействующих поверхностей статора и ротора пока не позволила авторам реализовать идею даже на опытном образце.

Имеются варианты, предлагающие решение в области объемных машин на уровне «суперсовременных двигателей XXI века» [19]. К сожалению, слабая теоретическая проработка не позволяет рассматривать их как реальный вариант решения проблемы. Единственным положительным выводом такой работы является применение термина «турбина объемного расширения», т.е. ротационный двигатель, в котором процесс базируется на вращательном движении рабочих элементов двигателя.

Ротационные машины объемного принципа также существуют. Это винтовые машины. Разработанные в 30-х годах XX века Лисхольмом как винтовой компрессор [20], винтовые машины, как всякие объемные машины, являются обратимыми. При подаче в них газового рабочего тела под давлением они работают как двигатель, преобразуя потенциальную энергию газа в механическую энергию вращения ротора, причем, непосредственно воздействуя на ротор без каких-либо промежуточных механизмов преобразования движения.

Винтовые компрессоры в настоящее время производятся многими фирмами, в России – Челябинским компрессорным заводом. В последнее время винтовые машины стали применять как двигатели. В частности, винтовые двигатели применяются для создания электрогенерирующей надстройки на паровых котельных [21, 22]. В России применением винтовых машин в качестве паровых двигателей занимаются организации «Малая независимая энергетика» (Москва), «Эко-Энергетика» (Санкт-Петербург»), ВМ-энергия» (Уфа). Винтовые двигатели мощно-

стью от 250 до 2000 кВт работают на паре давлением 1,3 МПа и температуре 250-300°C. При этом давление пара на выходе составляет 0,5-0,6 МПа.

Малый перепад давления, срабатываемый в винтовых машинах, связан с тем, что они имеют степень сжатия/расширения 4,0-4,5. Это вполне приемлемо для паровых агрегатов и сочетается с технологией паровых котельных, но как альтернатива ДВС этого недостаточно.

Идея винтового двигателя глубокого расширения высказывалась рядом авторов. Так, имеются схемы применения винтовых машин при их ступенчатом включении. При этом степень расширения достигается равной 16-20, т.е. на уровне дизельных двигателей. Такое предложение было теоретически обосновано [23]. Более того, австрийская компания «Биоэнергетические системы» на двух объектах применила систему двухступенчатого включения винтовых машин, работающих на привод одного электрогенератора через редуктор сбора мощности [24]. Суммарная мощность двухступенчатых установок с винтовыми двигателями составила 710 кВт. При начальном давлении 2,5 МПа давление пара на выпуске после винтовых двигателей составило 0,05-0,15 МПа, т.е. практически вся потенциальная энергии преобразована в механическую энергию.

Применительно к транспортным установкам наиболее конструктивно вопрос высоких технико-экономических показателей двигателя за счет большой степени расширения решается применением конических роторов с винтовой поверхностью. Такие идеи существовали и ранее, имеется несколько зарубежных патентов, но применение в качестве ДВС конических винтовых роторов можно считать заслугой нового XXI века. Так, московские авторы изложили принцип винтового ДВС, включая как винтовой компрессор, так и винтовую расширительную машину (детандер, экспандер) в 2003 г. [25]. Подобную схему, изложенную чешскими авторами, рассматривали на международной конференции по изобретательской деятельности в Бельгии в 2006 г., а комментировал и дал положительное заключение эксперт из Японии [26].

В теоретическом плане винтовые машины глубокого расширения с коническими роторами (как компрессор, так и как экспандер, т.е. расширительные машины или, по существу, двигатели) исследуются в настоящее время в Тольяттинском университете [27, 28]. Но в данном случае винтовые машины рассматриваются на низкие параметры применительно к системам наддува дизельных двигателей, систем кондиционирования.

Анализ развития проблемы ротационных двигателей показал, что практическая реализация винтовых машин глубокого расширения отсутствует.

Для решения этой задачи необходимо выполнить несколько этапов. Первый – теоретически обосновать профиль винтовой поверхности. Решая эту задачу, авторы пришли к следующему выводу. Все предыдущие решения в этой области базировались на теории зубчатых зацеплений (шестерен). Такой принцип применим при малой степени расширения. При переходе к большой степени расширения задача решается не на принципах шестеренных зацеплений, а по типу резьбовых соединений (с внешним зацеплением). Это позволяет, во-первых, иметь любую необходимую степень расширения. Во-вторых, профиль винтовой поверхности образуется в виде гребней и впадин трапецевидной формы с плоскими боковыми гранями, которые при взаимном контакте роторов образуют плотный контакт. Такой профиль винтовой поверхности проще в изготовлении, кроме того, контакт плоских поверхностей позволяет гарантированно обеспечить газовую плотность в местах контакта роторов.

Подобный профиль винтовой поверхности роторов требует применение синхронизирующих шестерен для согласования вращения роторов и передачи мощности на один вал. Но наличие пары зубчатых колес конической формы с точки зрения технологии изготовления является существенно более простым техническим решением при наличии плоских поверхностей контакта роторов, по сравнению с контактом криволинейных поверхностей, что имело место в других известных конструкциях винтовых машин.

Вторая задача связана с технологией получения винтовой поверхности на коническом роторе. Из теоретических расчетов следует, что шаг винтовой навивки по длине конического ротора должен плавно изменяться. Это усложняет технологию изготовления, так как требует применения, а возможно и разработки сложных станков с электронным управлением. Например, для московского варианта винтового двигателя его авторами разработана конструкция станка для нарезания сложных сферовинтовых поверхностей [29]. Естественно, что выполнение специализированного станка существенно усложнит и увеличит стоимость работ по освоению двигателя нового типа.

Более простое решение возможно при применении винтовой поверхности со ступенчатым изменением шага. В этой области «...в зависимости от типа траектории возможны варианты получения цилиндрических и конических винтовых поверхностей, а также винтов с постоянным и переменным шагом...» [30]. Авторы использовали такой подход к решению задачи технологии изготовления винтовой поверхности. Проектируя ротор с углом конусности  $20^\circ$  с диаметрами 160 и 40 мм при длине 40 мм, получено, что на серийном токарном станке КТ-20 Московского завода «Красный пролетарий», используя шаги продольной подачи 112, 96 и 80 мм, на конической поверхности ротора получена двухзаходная винтовая поверхность с геометрией винтовой поверхности, близко соответствующей расчетным параметрам. По такой технологии была изготовлена модель основного ротора из капроластана (рис. 1, 2).



*Рис. 1. Нарезка на коническом роторе винтовой поверхности на серийном токарном станке*

По полученной модели в дальнейшем планируется получение рабочего ротора методом точного литья.



*Рис. 2. Модель основного ротора винтовой расширительной машины. Диаметры 160 / 40 мм, угол конусности ротора  $20^\circ$ , длина винтовой части 400 мм, винтовая поверхность в виде двухзаходной резьбы на четыре оборота с шагами 112, 96, 96 и 80 мм*

Основным принципом в винтовом двигателе является получение замкнутых спиральных камер между ротором и корпусом. При этом основной ротор и ротор-сателлит должны взаимно стыковаться боковыми поверхностями с винтовой нарезкой, образуя плотный контакт.

Наличие модели основного ротора с винтовой поверхностью при ступенчатом изменении шага позволяет получить модель ротора-сателлита методом формования его из пластичного материала. Для этого необходимо приспособление для закрепления в подшипниках основного ротора и вала ротора-сателлита, вращение которых согласуется синхронизирующими шестернями. Методом обкатки на валу ротора-сателлита формируется винтовая поверхность, точно соответствующая винтовой поверхности основного ротора.

Далее по модели ротора-сателлита методом точного литья выполняется рабочий вариант ротора.

Таким образом, выполнены первые этапы освоения винтовой машины глубокого расширения. Полученная модель ротора является основной операцией, в результате которой появляется возможность как выполнить модель парного ротора, так и выполнить рабочие роторы из металла.

#### **Библиографический список**

1. Rotary Steam Engines [Электронный ресурс] / [www.dself.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/roraryengines](http://www.dself.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/roraryengines).

2. Маленький двигатель с большим будущим [Электронный ресурс] / [www.ideyka.ru/NEMA/izobretenie?dvigun?dvigun.html](http://www.ideyka.ru/NEMA/izobretenie?dvigun?dvigun.html).
3. Пат. 2099556. Российская Федерация. Роторный двигатель Курочкина [Текст] / А.Г. Курочкин. Заяв. 01.11.1994.
4. Псковские ученые создали модель «двигателя будущего» [Электронный ресурс] / [www.rian.ru/science/20081124/155796803/html](http://www.rian.ru/science/20081124/155796803/html).
5. В Пскове представили действующую модель роторно-лопастного двигателя [Электронный ресурс] / [www.hitech.werb.ru/index.php?newsid=11289](http://www.hitech.werb.ru/index.php?newsid=11289).
6. Панченко, В.М. Роторные двигатели нового поколения [Электронный ресурс] / [www.rotor68.ru?avtor.htm](http://www.rotor68.ru?avtor.htm) (Патенты РФ № 2116475, 27.06.2998; № 2175397, 27.10.201; №223278, 10.07.2004; 2229610, 27.05.2004; №2251007, 27.04.2005).
7. Диск-швейцар пропускает поршни в канадском торе [Электронный ресурс] / [www.nenbrana.ru/articles/technic/2006/12/13/193400.html](http://www.nenbrana.ru/articles/technic/2006/12/13/193400.html).
8. Строительные машины и оборудование. Пневматические ручные машины [Электронный ресурс] / [www.stroy-technics.ru/article/pnevmaticheskie-ruchnye-mashiny](http://www.stroy-technics.ru/article/pnevmaticheskie-ruchnye-mashiny).
9. Бениович, В.С. Роторно-поршневые двигатели [Текст] / В.С. Бениович, Г.Д. Апазиди, А.М. Бойко. - М. Машиностроение, 1968.
10. Последняя разработка РПД Mazda Renesis 16X [Электронный ресурс] / [www.mazda.com/mazdaspirit/rotary/16x/](http://www.mazda.com/mazdaspirit/rotary/16x/).
11. Мацкерле, Ю. Современный экономичный автомобиль [Текст] / Ю. Мацкерле. - М.: Машиностроение, 1987. - 320 с.
12. Некрасов, В.Г. Направления развития автомобильных газовых турбин и определение их оптимальных параметров [Текст] / В.Г. Некрасов // Тяжелое машиностроение. - М.: 1999. №10. - С. 13-21.
13. Жигалов, В.А. Паровая машина – это актуально! [Текст] / В.А. Жигалов // Промышленная энергетика. - М.: 2003. - № 7. – С. 22-23.
14. Пат. 2155272. Российская Федерация. Роторно-волновой двигатель [Текст] / И.П. Седунов. Заяв. 13.07.1999.
15. Седунов, И.П. Роторно-волновой двигатель: геометрическое обоснование элементов конструкции. Основы рабочего процесса. [Текст] / Двигателестроение. – СПб.: 2001. - №2. -С. 39-43, 2001. - №3. -С. 39-41.
16. Нетрадиционные решения энергетических проблем. Роторно-волновой двигатель [Электронный ресурс] / И.П. Седунов [www.volnovoidvigatel.ru](http://www.volnovoidvigatel.ru).
17. Пат. 2377414. Российская Федерация. Роторный конусно-винтовой двигатель [Текст] / Б.И. Айметдинов. Заяв. 24.10.2007.
18. InnovateRussia.ru. Айметдинов, Б.И. Зворыкинский проект. Блог проекта «Семейство роторных конусно-винтовых силовых машин» [Электронный ресурс] / Б.И. Айметдинов. -[www.zv.innovaterussia.ru/zc\\_project/project/blog/2739](http://www.zv.innovaterussia.ru/zc_project/project/blog/2739).
19. Романов, В.А. Суперсовременные тепловые двигатели XXI века [Электронный ресурс] / В.А. Романов. - [www.rovlan.narod.ru](http://www.rovlan.narod.ru).
20. Винтовые компрессорные машины [Текст] / П.Е. Амосов, Н.И. Бобриков, А.И. Шварц [и др.] - Л.: Машиностроение, 1977. - 256 с.
21. Боровков, В.М. Паровая винтовая машина мощностью 1000 кВт для использования в малой энергетике [Текст] / В.М. Боровков, О.А. Бородина // Материалы науч. – практ. конф. «Малые и средние ТЭЦ. Современное состояние», Московская обл. Одинцовский район, УМЦ «Голицино», 7-9 сентября 2005.
22. Гузаиров, Р.М. Паровая винтовая машина ПВМ-2000АГ. [Текст] / Р.М. Гузаиров, С.Р. Березин, Р.М. Ахмедшин // Материалы науч.-практ. конф. «Малые и средние ТЭЦ. Современное состояние», Московская обл. Одинцовский район, УМЦ «Голицино», 7-9 сентября 2005.
23. Сотников, В.О. О движущей силе заветов и о последователях, которые способны развивать эту силу [Текст] / В.О. Сотников. - Донецк: Норд-Пресс, 2006. - 160 с.
24. Bioenergy system. [Электронный ресурс] / [www.be-sys.com](http://www.be-sys.com).
25. Горлов, Е. Винтовой двигатель внутреннего сгорания [Текст] / Е. Горлов, А. Коньшин, В. Спичкин // Двигатель. – М.: 2003. - №1. - С. 34-36.
26. Perna, V. New Motor and TRIZ Evaluation [Электронный ресурс] / V. Perna, B. Bu-

sov, P. Jirma. - [www.asaka-gu.as.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/epapers/e2](http://www.asaka-gu.as.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/epapers/e2). [www.translate.google.com/tranlate?js=y&prev=\\_t&hl=ru&ie=UT](http://www.translate.google.com/tranlate?js=y&prev=_t&hl=ru&ie=UT).

27. Пат. 2372524. Российская Федерация. Компрессор-экспандер с коническими роторами [Текст] / Е.Д. Кальней, В.Н. Максименко. – Заяв. 13.04.2007. Бюл. №31, 10.11.2009.

28. Конические винтовые роторы для компрессорных установок. VIII Московский международный салон инноваций и инвестиций [Электронный ресурс] /

[www.salon.exteach.ru/salon8/db/proj/php?kod-proekta=2924](http://www.salon.exteach.ru/salon8/db/proj/php?kod-proekta=2924).

29. Пат. 2309028. Российская Федерация. Способ формообразования сферовинтовых конических зубчатых поверхностей и устройство для его реализации [Текст] / Е.Б. Коньшина. Заяв. 10.10.2005.

30. Получение геометрии винтовой части роторов винтовых компрессоров [Электронный ресурс] / [www.comair.ru/info/39.html](http://www.comair.ru/info/39.html).

## FAN ENGINE RESEARCH

© 2011 A. G. Murzagaliev, V. G. Nekrasov

Aktubinsk state university named by K. Jubanov, Actobe, Kazakhstan

The analysis of development of rotational engines has done. In our time among rotational engines rotor-piston engines, blade turbines and fan engines are known. In this article is shown that in the field of autotractor engines any of these types of rotational engines cannot be alternative to piston engines existing today. High technical and economic indicators can be received on the rotational engine of volume type of deep expansion. Such design is realised on the basis of conic fan elements. The broad machine of deep expansion ideas expressed but not realised in an industrial version of the engine. In this work it is proved a principle of blading of a fan surface on a conical rotor. The manufacturing technology is developed and the model of a rotor full-scale is executed from plastic.

*Engines, 3D-engines, piston engines, rotational engines, rotor-piston engines, blade turbines, fan engines, fan expansion machine.*

### Информация об авторах

**Мурзагалиев Ахмет Жакеевич**, кандидат технических наук, декан технического факультета Актюбинского государственного университета. Тел.: 8702-274-64-62. E-mail: [vadim.n@nursat.kz](mailto:vadim.n@nursat.kz). Область научных интересов: тепловые двигатели.

**Некрасов Вадим Георгиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры автотранспорта Актюбинского государственного университета. Тел.: 8777-257-67-08. E-mail: [vadim.n@nursat.kz](mailto:vadim.n@nursat.kz). Область научных интересов: тепловые двигатели.

**Murzagaliev Axmet Gakeevich**, Candidate of Technikal Sciences, The Head of Technical Faculty of Aktubinsk state university named by K. Jubanov. Phone: 8702-274-64-62. E-mail: [vadim.n@nursat.kz](mailto:vadim.n@nursat.kz). Area of research: Engne.

**Nekrasov Vadim Georgievich**, Candidate of Technikal Sciences, associate Professor of Aktubinsk state university named by K. Jubanov. Phone: 8777-257-67-08. E-mail: [vadim.n@nursat.kz](mailto:vadim.n@nursat.kz). Area of research: Engne.