

# ОВАЛЬНЫЕ ПОРШНИ, ТРЕУГОЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРЫ

Кандидат технических наук Д. БОБРОВ.

В тот момент, когда кто-то из людей догадался приспособить колесо для перевозки груза, возникла очередная задача — разработать адекватный механизм для приведения получившейся повозки в движение. Справедливости ради заметим, что долгое время эта задача не формулировалась именно так (это не означает, что её не было), поскольку с перемещением вполне успешно справлялись биологические источники движущей силы — имевшиеся в достаточном количестве рабы и тягловые животные. Однако со временем возникла необходимость перемещать поклажу на большие расстояния с более или менее высокой скоростью. Живые двигатели с такой задачей справиться не могли, пришлось придумывать моторы.

Многие исследователи истории техники склонны считать, что большинство современных механизмов впервые появилось в Китае. Так ли это на самом деле, сказать трудно, но то, что первые поршневые компрессоры возникли в Поднебесной, пожалуй, факт. Известно, во всяком случае, что трубки из бамбука с намотанной на палку пробкой из травы и смазкой из животного жира ещё в бронзовом веке использовались в китайских кузницах в качестве мехов для раздувания огня. Поршень толкали туда-сюда вручную, но довольно быстро кузнецы догадались приспособить к палке кривошип, и дело пошло куда веселее. До изобретения поршневого двигателя оставался всего шаг, нужно было суметь заставить поршень двигаться внутри цилиндра самостоятельно и крутить кривошип или коленчатый вал. Но прошло около двух тысячелетий, прежде чем эта мысль получила практическое воплощение.

Идея оказалась конструктивно довольно легко выполнимой, и поршневые двигатели с момента своего появления надолго заняли место в технике. Бегающие взад-вперёд поршни через коленчатые валы и шестерёнчатые передачи крутят колёса, вращают гребные винты, работают в компрессорах и

насосах, то есть практически во всех типах промышленных и бытовых силовых машин. А почему? Да потому, что за тысячелетия своей истории люди не придумали ничего лучше.

Впрочем, почему же не придумали? Есть, например, турбины, есть, наконец, реактивные двигатели, есть и электромоторы. Правда, сферы их применения всё же ограничены. Турбины и реактивные двигатели приспособить к небольшим машинам довольно сложно и дорого, электромоторы требуют источников питания, пока ещё не отработанных настолько,

чтобы сравниться по энергоёмкости с элементарным бензобаком.

Есть ли выход? Оказывается, есть. И, по всей видимости, он в использовании так называемых роторных, или роторно-поршневых, двигателей. Самый известный из них — двигатель немецкого инженера Феликса Ванкеля. Действующий образец его роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания (РПД) был испытан в феврале 1957-го, а задолго до этого, в двадцатых годах XX века (точнее — в 1929-м), он получил патент на роторно-поршневой компрессор.

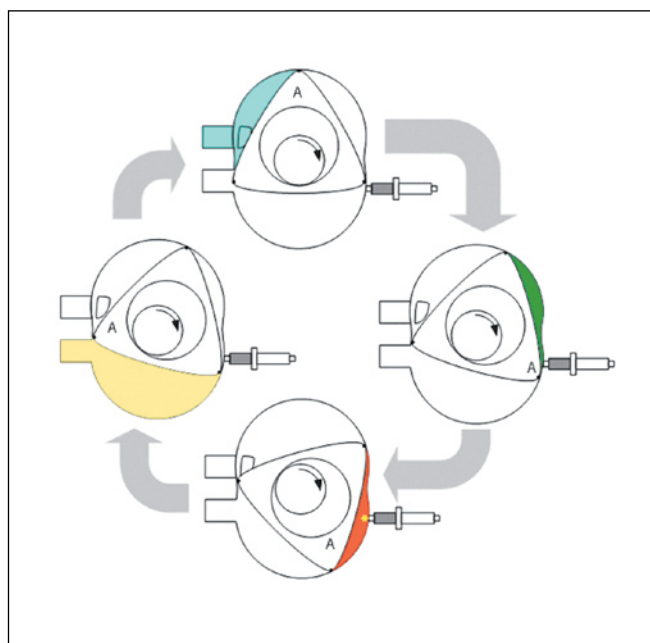


Рис. 1. В двигателе Ванкеля треугольный поршень вращается в камере, напоминающей распухшую восьмёрку.

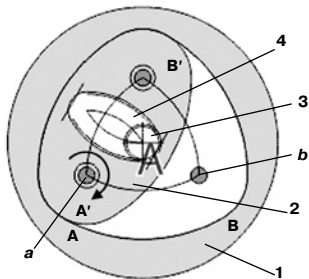
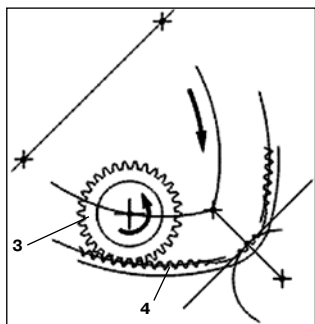


Рис. 2. Схема роторно-поршневого двигателя РКМ: 1 — стационарный корпус; 2 — вращающийся поршень; 3 — зубчатое колесо приводного вала; 4 — внутренняя шестерня поршня.

Патент на двигатель Ванкель оформил в 1936-м. И это объяснимо: сделать компрессор, то есть «холодную» машину, намного проще, чем мотор — машину «горячую».

Суть изобретения Ванкеля заключалась в том, что в корпусе двигателя на эксцентрик вращается поршень треугольного сечения (рис. 1). За один оборот кромки поршня описывают поверхность, напоминающую распухшую восьмёрку. Поршень постоянно делит внутреннюю полость мотора на три камеры. По мере вращения поршня камеры постоянно меняют свой объём. Когда объём одной камеры растёт, в неё засасывается горячая смесь; в это же время объём другой камеры уменьшается, смесь сжимается, происходит зажигание; под действием возросшего в этой камере давления поршень проворачивается, заставляя отра-

Рис. 3. Внутри вращающегося поршня расположены жёстко связанная с ним разрывная шестерня (4) и зубчатое колесо (3) приводного вала двигателя.



ботавшую смесь из третьей камеры уйти в выхлопной тракт. Таким образом, за один полный оборот в двигателе Ванкеля происходят три вспышки топлива, в то время как в обычном поршневом моторе одна вспышка приходится на два оборота коленчатого вала. Поршень в РПД вращается с более или менее постоянной скоростью, не меняя направления движения, а в обычном моторе он совершает возвратно-поступательные движения. Всё это создаёт большие преимущества роторных моторов, они работают значительно плавнее обычных, для их изготовления требуется почти на треть меньше деталей, они существенно (даже очень существенно) легче и меньше своих поршневых собратьев. Но... на кромках поршня в реальном моторе Ванкеля устанавливают специальные уплотнения, которые препятствуют порыву газов из одной камеры мотора в другую. В этих уплотнениях (хотя и не только в них) кроется причина того, что РПД не получили широкого распространения. Практически только японская компания «Мазда» продолжает серийно выпускать автомобили с роторными моторами. Нужно отдать должное этим механизмам. При сравнительно небольшом рабочем объёме они обладают значительной мощностью, могут работать на высоких оборотах, и снабжённые ими машины ездят очень быстро. Но топливная экономичность их ниже всякой критики, да и расход масла не идёт ни в какое сравнение с обычными поршневыми моторами.

У двигателей Ванкеля есть и ещё один весьма существенный минус: по этой схеме невозможно сделать дизельный мотор, уплотнения по кромке поршня не способны удерживать давление в камере сгорания, достаточное для работы дизеля.

И что же? Опять нет выхода? Выход, кажется, найден. И найден он нашим соотечественником, физиком и математиком Борисом Шапиро, работающим сейчас в Германии.

Сформулировав и решив сложную математическую

задачу, он предложил новый класс машин с вращающимся поршнем. Шапиро назвал такие машины РКМ (от немецкого Rotationskolbenmaschinen), а его немецкие коллеги «по цеху» упростили название до Schapiro-motor, то есть мотор Шапиро.

Внешне РКМ напоминает двигатель Ванкеля, однако даже при беглом взгляде видно (рис. 2), что у этих машин принципиально разные формы поршней: в моторе Ванкеля — треугольный с острыми кромками, в двигателе Шапиро — скруглённый. В двигателе Ванкеля поршень своими кромками только скользит по поверхности камеры, создавая уплотнения по линии соприкосновения, а в двигателе Шапиро контакт осуществляется при скольжении поверхности по поверхности. Контакт между овальными поверхностями поршня и камеры оказывается значительно более плотным, что обеспечивает возможность развивать в образующихся рабочих камерах весьма высокое давление (дизель возможен).

Главные компоненты РКМ — это специальный стационарный корпус с криволинейной рабочей камерой и вращающийся внутри него овальный (если быть более точным, то в простейшем случае бивальный, а в более сложных — полиовальный) поршень. В внутренней части поршня встроено оригинальное зубчатое устройство, находящееся в зацеплении с зубчатым колесом приводного вала. Через это зацепление вращение поршня передаётся на вал, или, наоборот, вращение вала заставляет поршень крутиться. Это, кстати, даёт возможность использовать РКМ и как двигатель, и как компрессор или насос. Поршень вращается вокруг оси, названной авторами «прыгающей». На рис. 2 поршень показан в крайнем левом положении. Вращаясь по часовой стрелке относительно оси  $a$ , он переходит в нижнее положение, касается стенки по линии  $A-B$ , и в этот момент начинается вращение относительно оси  $b$ . Ось как бы перепрыгивает из одного положения в другое.

Легко видеть, что положение мгновенной оси вращения перемещается навстречу самому поршню.

Из схемы (рис. 3) видно, что зубчатое колесо 3 приводного вала находится в зацеплении с внутренней шестерней поршня 4. Центр делительной окружности шестерни располагается в точке, относительно которой вращается поршень.

Представим себе, что в рассматриваемом механизме вращается не поршень, а корпус. Тогда легко увидеть, что траектория оси приводного вала имеет особые точки, которые соответствуют крайним положениям самого поршня в корпусе механизма. Пройти эти особые точки непросто. Авторам новой машины удалось решить эту задачу. Они смогли рассчитать, а затем и построить геометрическую модель разрывной зубчатой передачи, которая полностью компенсирует особые точки траектории оси приводного вала.

Во внутренней полости поршня можно установить один приводной вал, но можно и два.

От того, один или два приводных вала имеются в двигателе, зависит соотношение количества условных граней в поршне-роторе и корпусе (рис. 4). Если приводной вал один, то число граней в камере корпуса составляет  $n + 1$ , где  $n$  — число граней ротора; если же валов два, то число граней в камере составит  $n - 1$ . Впрочем, от количества установленных валов зависит не только внешний профиль поршня, но и форма его внутренней полости. Так, если вал один, то внутренняя полость повторяет контур поршня, но повернута по отношению к нему на 90 град., а если два — то она просто повторяет профиль поршня. В трёхгранном поршне полость содержит три грани, в пятигранном — пять и т.д.

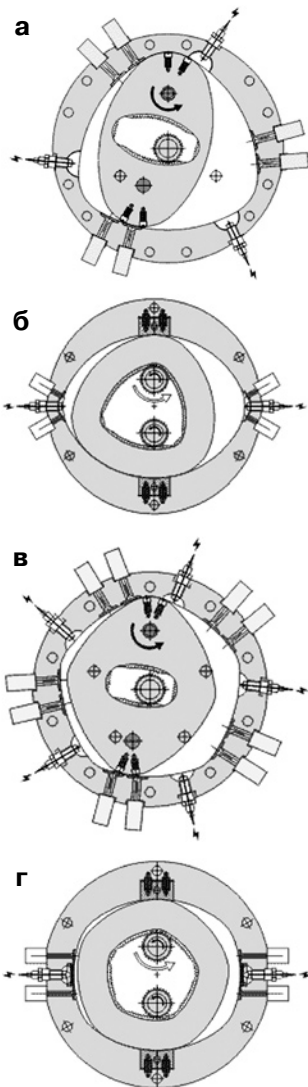
Как же работает RKM? Рассмотрим последовательность тактов на примере биовального поршня в «треугольной» камере (рис. 5). Предположим, что поршень вращается по часовой стрелке. Тогда объём камеры слева от поршня увеличивается,

*Рис. 4 Роторно-поршневые машины типа RKM могут иметь один или два приводных вала. Если вал один, то рабочая камера имеет на одну грань больше, чем поршень (варианты а, в), если же валов два — то на одну грань меньше (варианты б, г).*

в неё засасывается горячая смесь. В момент «прыжка» мгновенной оси вращения поршня объём камеры начинает уменьшаться, смесь сжимается. Одновременно в камеру, расположенную на рисунке ниже поршня, засасывается следующая порция горючей смеси. При максимальном сжатии смеси (или на несколько мгновений раньше) смесь поджигается. Сгорающая смесь расширяется и толкает поршень, который, во-первых, заставляет вращаться приводной вал, во-вторых, сокращая объём левой камеры, сжимает горючую смесь в ней. Теперь поджигается смесь в камере слева от поршня, начинает сокращаться в объёме камера справа. Отработавшие газы из неё удаляются. Через каждую треть полного оборота поршня такты всасывания, сжатия, сгорания и выхлопа полностью повторяются.

Двигатель RKM будет обладать усовершенствованным процессом поджига в оптимизированной камере сгорания (предкамере), отделённой от рабочих камер. Это существенно улучшает коэффициент полезного действия. Конструкторы новой машины столкнулись также с несколькими серьёзными проблемами. Например, достигая крайнего положения, поршень двигателя RKM может удариться в стенку камеры. Впрочем, все проблемы тем или иным способом удаётся решить. Важно и то, что для изготовления машин типа RKM можно применить существующие машиностроительные технологии и материалы. Ничего нового специально создавать не требуется.

Машины RKM состоят из небольшого числа деталей. Предварительные расчёты показывают, например, что сконструированный по технологии RKM компрессор на



20 атм будет иметь почти на две трети меньше деталей, чем выпускаемые сегодня, и в результате себестоимость уменьшится на 30%. Кроме того, малое количество деталей существенно повышает надёжность: каждому начинающему механику известно, что чем меньше в машине компонентов, тем реже она ломается.

Интересно то, что если говорить о теории машин и механизмов, возвратно-поступательное движение поршня является частным случаем принципа действия машин RKM, обладающих всеми преимуществами «классических» поршневых машин — надёжным уплотнением

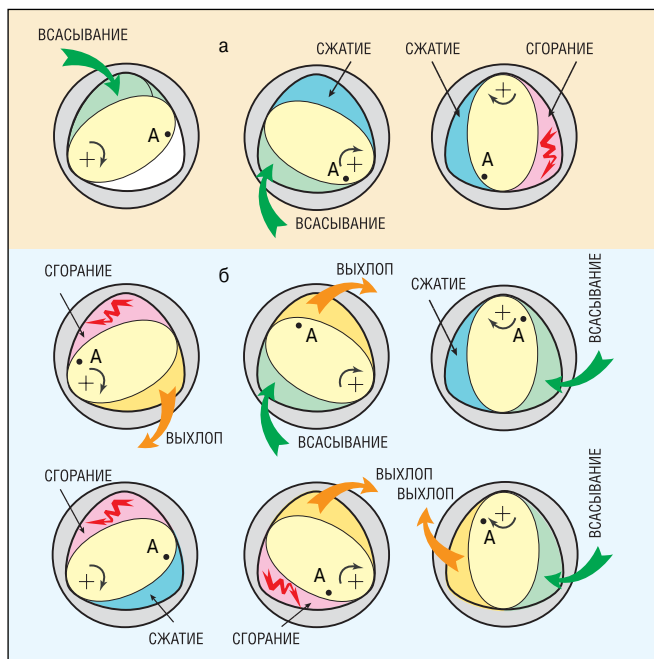
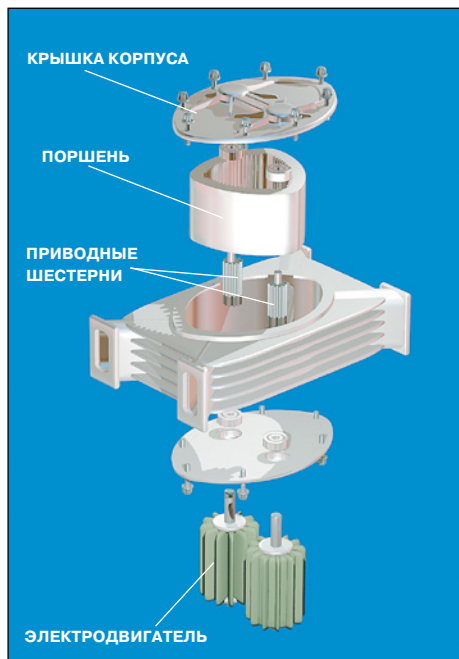


Рис. 5. Принцип работы роторно-поршневого двигателя РКМ: а — запуск двигателя; б — рабочий режим. За 1/3 полного оборота поршня цикл работы мотора с биовальным поршнем повторяется.

между рабочей камерой и поршнем и возможностью высокой степени сжатия в рабочей камере.

Моторы РКМ могут быть карбюраторными или дизельными и работать на продуктах перегонки нефти, сжиженном природном газе,

Рис. 6. Действующая демонстрационная модель компрессора типа РКМ.



водороде или любом другом топливе. Причём сгорание топлива в них благодаря наличию предкамеры оказывается существенно более полным, а выхлоп более чистым.

Наконец, машины РКМ обладают более высоким КПД, чем существующие. Подсчитано, что применение принципа РКМ даже в паровой машине повысит её КПД как минимум до 35%, то есть сделает архаичное по сегодняшним меркам устройство современным автомобильным мотором.

Новаторская механика РКМ может быть использована в тысячах вариантов, многие из которых сегодня трудно себе представить. Например, автомобиль, каждое из колёс которого крутит индивидуальный мотор величиной с трёхлитровую банку. Или портативный компьютер, работа-

ющий без перерыва 60 часов от миниатюрного электрогенератора с крохотным моторчиком внутри. Ведь есть же двигатель Ванкеля величиной с монету в один цент... Сменил в таком генераторе пустой топливный бачок размером с толстый карандаш на полный, и работой дальше.

Однако разработчики считают, что наиболее реально сейчас применять РКМ в качестве компрессоров и насосов. Исследования, проведённые группой инженеров и студентов Политехнического университета в Ингольштадте (Германия), показали, что такие насосы, будучи использованными вместо известных типов, могут иметь заметные технико-экономические преимущества.

Пробриться с новым классом машин на рынок моторов очень трудно. В мире всего около десятка независимых производителей моторов. Остальные в той или иной степени связаны с ними и зависят от них. Вложившие в усовершенствование и производство «классических» моторов многие миллиарды долларов, австростроители все же горят желанием сменить направление работы. Несмотря на то, что двигатели РКМ будут экономичнее, мощнее, меньше, легче, надёжнее и дешевле в производстве и обслуживании.

Рынки насосов и компрессоров столь же огромны, как и рынки моторов, но значительно менее монополизированы. Таковую технику производят по всему миру сотни тысяч почти независимых компаний. В то же время в одной только Германии ежегодный объём продаж насосов различных типов оценивается в 4,5 млрд евро, а во всём мире достигает 315 млрд евро. Вероятно, именно на рынке насосов и начнётся история реального использования машин РКМ.



РАДУГА ПРОЗРАЧНОГО

ISSN 0028-1263

# НАУКА И ЖИЗНЬ

5

2008

- Придёт час, и в России поймут, что лес не только синоним древесины, лес — наша жизнь, наше будущее — убеждён академик А. С. Исаев
- Компактные роторно-поршневые машины идут на смену насосам, компрессорам и автомобильным моторам
- Чердаки Государственного Эрмитажа — могучий музей над великим музеем
- На вопрос: что делать с заросшим садом, ответ прост: взять и обновить!

