

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.

Электрон. журн. 2023. № 3. С. 16 – 33.

DOI:

Представлена в редакцию: 23.07.2023

Принята к публикации: 08.08.2023

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621. 437.3

Обзор и анализ мировых разработок роторно-лопастных двигателей

Зайцев А.А.

a.zaitsev@list.ru

ООО «АЗАРТ» (ОПН Сколково 1123493) ,
Российская Федерация

Статья посвящена обзору известных конструкций роторно-лопастных двигателей (РЛД). К преимуществам РЛД относится высокая литровая мощность, отсутствие газораспределительного механизма, простота реализации управления рабочим процессом и потенциально высокий КПД.

По результатам анализа известных конструкций выявлены их непреодолимые недостатки, которые не позволили использовать РЛД на практике.

Предложена систематизация конструктивных схем РЛД по принципу преобразования неравномерного движения роторов в равномерное вращение выходного вала. По этому принципу выявлены три группы: группа гармонично-синусоидальных схем; группа экстремально-синусоидальных схем и группа схем синхронизации с останавливаемыми роторами.

Установлено, что перспективным направлением совершенствования конструктивных схем РЛД является схема с останавливаемыми роторами. Эта схема теоретически обеспечивает наиболее эффективное преобразование сил давления на лопасти ротора в крутящий момент на выходном валу двигателя.

Ключевые слова: роторно-лопастной двигатель, механизм преобразования неравномерного движения роторов в равномерное вращение выходного вала, синхронизация роторов.

Введение

Роторно-лопастной двигатель (РЛД) - это тороидальный двигатель внутреннего сгорания. Принципиальная схема РЛД показана на рис. 1. РЛД состоит из тороида, в котором размещены две пары поршней-лопастей. Каждая пара механически связана с одним из двух роторов, вращающихся соосно. Лопасти делят тороид на четыре рабочие камеры. В каждой камере за один оборот попеременно совершаются все четыре рабочих такта: впуск рабочей смеси, сжатие, рабочий ход и выпуск отработавших газов. Таким образом, по количеству

циклов на один оборот выходного вала одна секция РЛД функционально соответствует 8-цилиндровому поршневому двигателю внутреннего сгорания (ДВС).

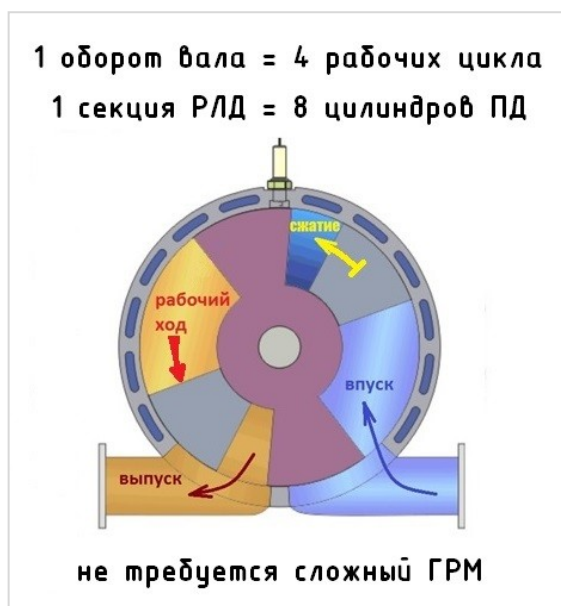


Рис. 1. Принципиальная схема роторно-лопастного двигателя (ПД – поршневой двигатель; ГРМ – газораспределительный механизм)

Именно эта особенность создает принципиальные преимущества РЛД, такие как компактность (в 4-5 раз компактнее поршневого двигателя), относительная простота конструкции (из-за отсутствия сложного механизма газораспределения), высокая литровая мощность, простота передачи энергии между отдельными рабочими камерами, простота реализации современных и перспективных технологий управления рабочим процессом (управляемые фазы газораспределения, изменяемые степень сжатия и рабочий объем, циклы Миллера и Аткинсона).

Реализовать эти преимущества пытались с начала прошлого века. Однако создание такого рода двигателей сопряжено с решением сложной технической задачи по эффективной синхронизации вращения роторов, которые должны двигаться неравномерно («пульсировать» друг относительно друга), и передачи с них крутящего момента на равномерно вращающийся общий вал.

Вплоть до настоящего времени решение этой задачи осуществлялось преимущественно с использованием следующих механизмов синхронизации роторов[1-4]:

- зубчатый механизм с некруглыми шестернями,
- планетарный или эпициклоидальный механизм,
- планетарно-кривошипный механизм,
- кривошипно-рычажный механизм,
- рычажный механизм с вращающимися рычагами,
- рычажно-кулачковый механизм.

Коллаж, иллюстрирующий множество упомянутых и других известных конструкций, представлен на рис.2.

Конструкции механизмов синхронизации лопастей, с помощью которых предпринимались практические попытки реализации идеи создания РЛД, рассмотрены далее.

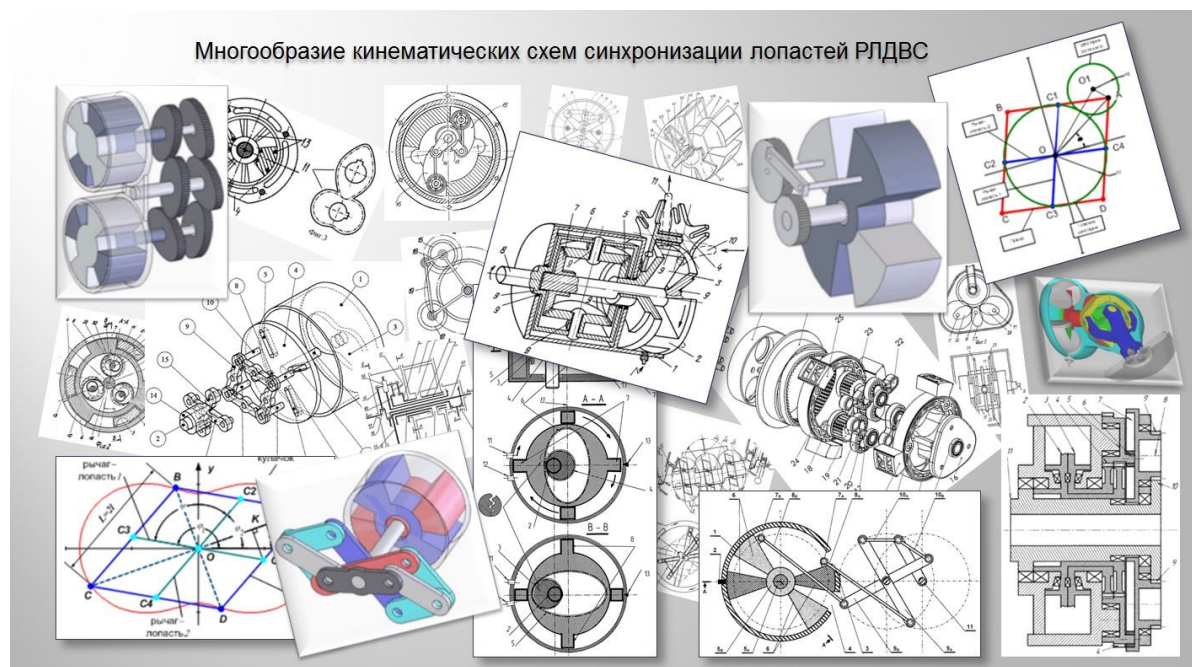


Рис. 2. Многообразие конструкций с разными схемами синхронизации роторов

Основная часть

Одним из первых в 1905 году построил свой торoidalный двигатель Девандр (Dewandre) (патент GB 28511) [5]. Этот двигатель вращался вокруг неподвижного центрального вала. Восемь поршней закреплены попарно. Четыре эпициклических шестерни входили в зацепление с солнечной шестерней на центральном валу и сообщали возвратно-поступательное движение поршневым узлам через короткие шатуны (рис. 3).

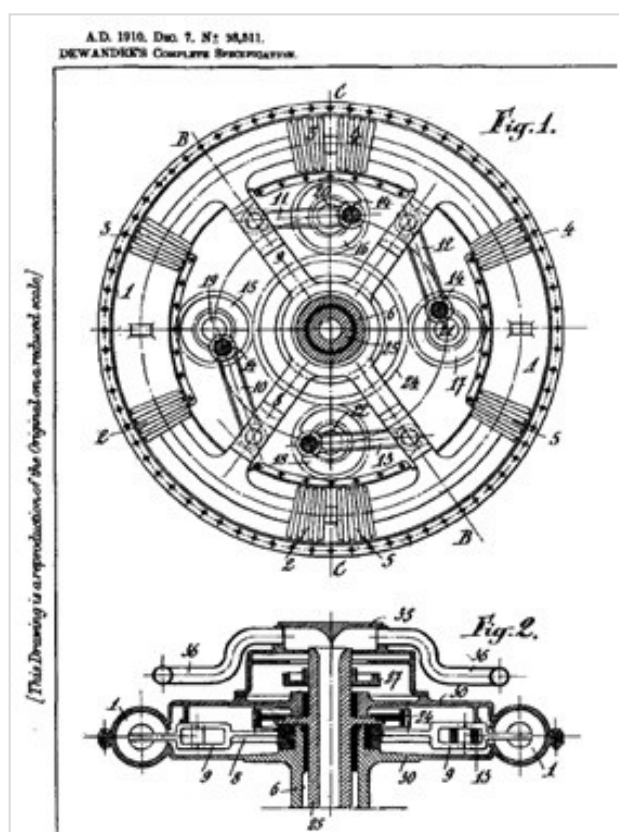


Рис. 3. Конструкция двигателя Девандра

В 1909-1913 гг. три варианта своих роторно-поршневых двигателей построил Фредерик Бек (Beck) [5].

Конструкция первого варианта (рис. 4) с восемью поршнями, движущимися в тороиде, как и у Девандра, предполагала, что двигатель вращается вокруг неподвижного вала и несет на себе пропеллер. Рабочие полости были разделены четырьмя неподвижными перегородками в точках А. Когда кривошип С вращался, соответствующие рычаги вызывали колебание радиальных рычагов R, увлекая за собой поршни Р. Этот двигатель был выставлен на авиасалоне в Париже в 1909 году.

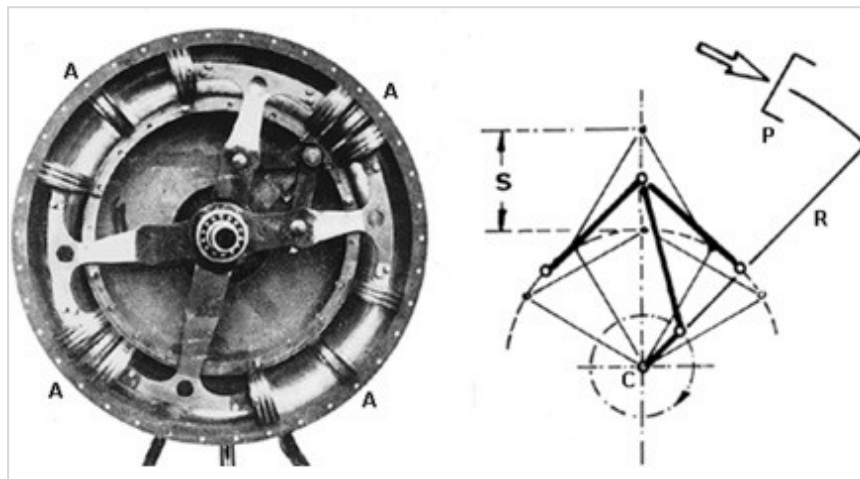


Рис. 4. Конструкция первого варианта двигателя Бека

Во втором варианте двигателя Бека (рис. 5) [5] использовались коленчатые кривошипы и лицевой кулачок для привода поршней. Однако форма направляющей кулачка указывает на то, что коленчатые рычаги и поршни должны испытывать высокие инерционные нагрузки. Между поршнями все еще есть перегородки, поэтому каждый из них имеет свою собственную камеру сгорания. На иллюстрации видно наличие клапанного механизма. Клапаны состоят из скользящих колец, установленных в перегородках между поршнями.

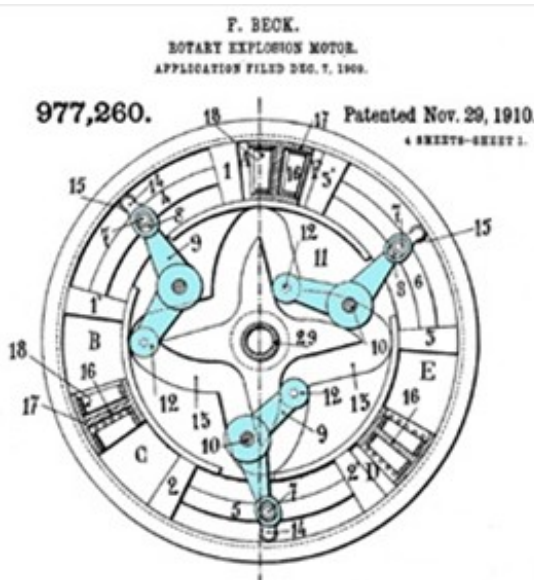


Рис. 5. Конструкция второго варианта двигателя Бека

Неизвестно, был ли когда-либо построен второй вариант двигателя, но к 1913 году Бек снова переосмыслил конструкцию РЛД, на которую был выдан австрийский патент 59916. Третий вариант, показанный на рис. 6, имеет другой приводной механизм, использующий коленчатые рычаги, звенья и два четвертьториода [5].

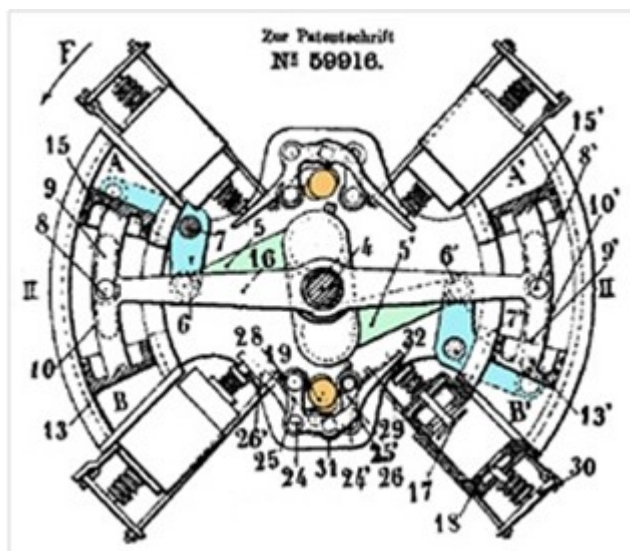


Рис. 6. Конструкция третьего варианта двигателя Бека

Несмотря на неполный тороид, это по-прежнему двигатель с неподвижным центральным валом, вокруг которого вращается корпус с поршнями. Стрелка F в левом верхнем углу рисунка указывает направление вращения.

После второй мировой войны были предприняты еще несколько попыток по разработке тороидальных двигателей. Одна из них была предпринята инженером Гранвиллом Иствудом Брэдшоу (Granville Eastwood Bradshaw). В его двигателе (рис. 7) вращающийся тороид был жестко связан с центральным валом, а шатуны, задающие возвратно-поступательное движение поршней, приводили в движение выходной вал [5].

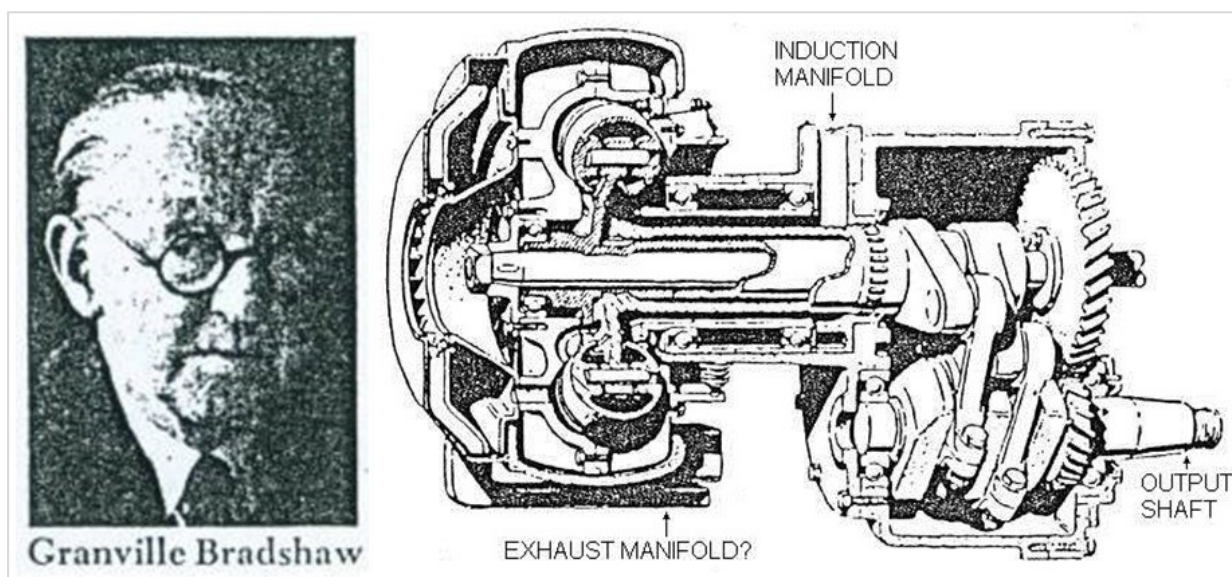


Рис. 7. Конструкция двигателя Брэдшоу

Брэдшоу построил версии своего двигателя объемом 1100 и 1250 кубических сантиметров, которые широко рекламировались в 1950-х годах. Но в итоге и его проект, как проекты и его предшественников оказались провальными.

Упомянутые конструкции Девандра, Бека и Брэдшоу были обречены на забвение, так как в их конструкциях был использован возвратно-поступательный принцип движения поршней (лопастей), который не позволяет реализовать главное преимущество роторно-лопастного двигателя, при котором за один оборот вала происходят четыре полноценных четырехтактных цикла, а сам двигатель мог бы получиться очень компактным. Кроме того, чрезмерное усложнение, нетехнологичность и ненадежность рассмотренных выше конструкций закономерно привели к их проигрышу классическим поршневым двигателям с кривошипно-шатунными механизмами.

В шестидесятых годах немецкая фирма Клёкнер-Хумбольд-Дойц (нем. Klöckner-Humboldt-Deutz) экспериментировала с механизмом Кауэрца (рис. 8) [1, 5].

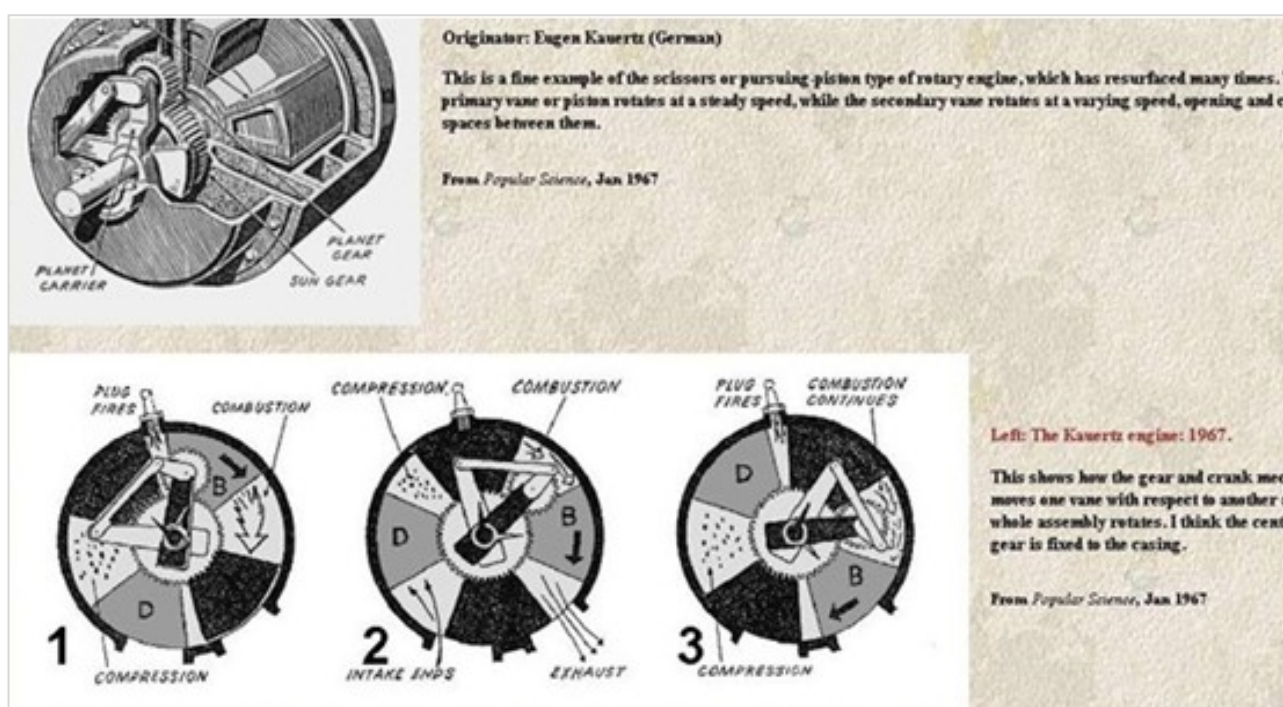


Рис. 8. Конструкция двигателя Кауэрца

Это типичный пример двигателя с планетарно-кривошипным механизмом, который безуспешно много раз пытались использовать и ранее, и позже. Одна пара лопастей здесь вращается с постоянной скоростью, тогда как вторая - с переменной, увеличивая и уменьшая расстояния между ними. При этом удастся реализовать принцип "1 оборот = 4 цикла", однако именно планетарно-кривошипный механизм неизбежно создает губительные вибрации из-за хлыстового движения останавливаемой лопасти.

Еще одной попыткой в конце 1960-х годов был проект Трауготта Чуди (Traugott Tschudi) [5]. Поршни приводились в движение посредством оригинального кулачкового механизма. На рис. 9 показаны два ролика с двумя лопастями в черном цвете, а другой набор в белом цвете. Выходной вал эксцентричен к роторам и тороиду.

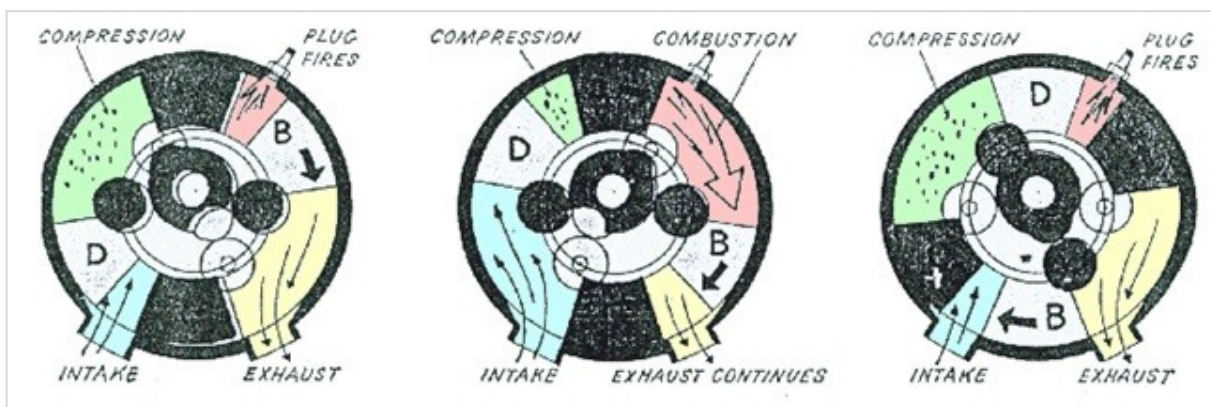


Рис. 9. Конструкция двигателя Чуди

Чуди, хотя и надеялся извлечь выгоду из бума интереса к роторным двигателям после успеха Ванкеля, но так и не смог добиться успеха. Механизм оказался ненадежным из-за больших нагрузок на ролики при их защемлении ротором при остановке лопастей.

Результатом одной из последних попыток создания РЛД стал двигатель, запатентованный Рафалем Моргадо (Raphial Morgado) (pat. US6739307B2) [5, 8]. Изобретатель называл его МҮТ («Могучий, но крошечный») на основании «соотношения мощности и веса в 40 раз выше, чем у обычных двигателей». Моргадо заявлял, что такой двигатель (рис. 10) в дизельном варианте при диаметре поршня 76 мм и степени сжатия 25/1 должен выдавать 850 л.с. и при этом весить 68 кг.

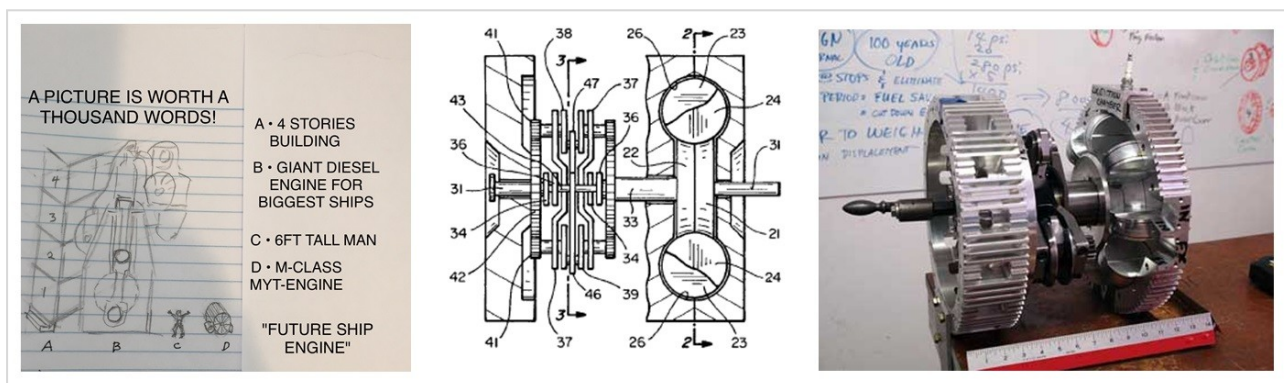


Рис. 10. Схема и макет двигателя Моргадо

Однако это был все тот же пример двигателя с планетарно-кривошипным механизмом, а его слабость – губительные вибрации.

У нас в стране известен двигатель Вигриянова и Иванова (рис. 11), созданный в 1973 году с многократными вносившимися в дальнейшем изменениями конструкции (патенты 1788305, 1629608, 1752991, 1618949, 2022183) [8]. Этот РЛД заводился, работал и даже привлек внимание инвесторов из США, но, в конце концов, проект не был доведен до коммерческой реализации, так как двигатель оказался ненадежным.



Рис. 11. Двигатель Вигриянова и Иванова

Создать РЛД пытались и в Псковском политехническом институте (патенты 2374526, 2387844, 2619391, 2651106) [8]. В основе его конструкции лежит четырехзвенный механизм преобразования движения роторов. В итоге получилось реализовать проект лишь в виде двигателя внешнего сгорания (рис. 12). В составе проекта представлена роторно-лопастная машина, преобразующая энергию пара в механическую энергию и функционирующая в составе агрегата, в котором рабочее тело формируется в отдельном парогенераторе.

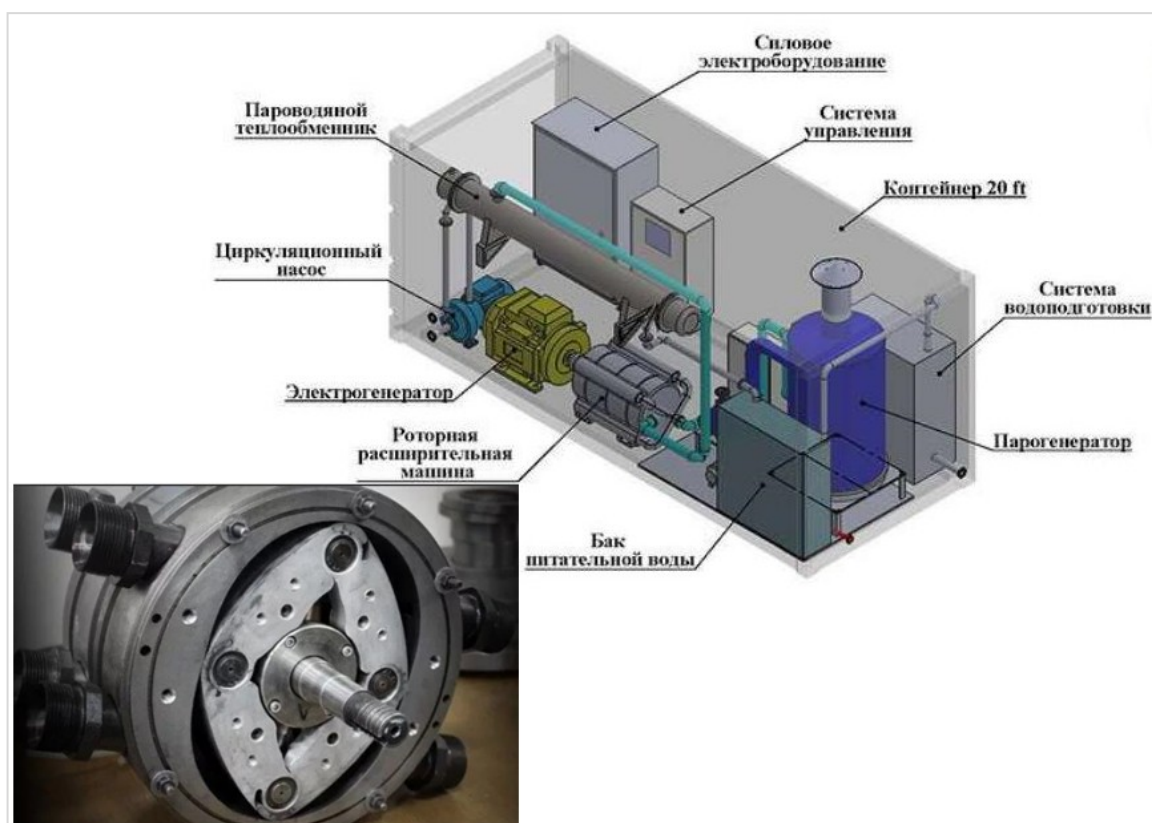


Рис. 12. Разработка сотрудников Псковского политехнического института

Наиболее известным у нас в стране стал двигатель, разрабатывавшийся для Ё-мобиля (рис. 13) [6]. У Ё-двигателя за основу конструкции была взята схема РЛД, запатентованная в США (Virmel Engine, pat.USA #3356079, 1967 год). И хотя в разработку двигателя было вложено очень много средств, тот факт, что в основу проекта была положена хоть и усиленная, но все же неудачная схема синхронизации роторов с планетарно-кривошипным механизмом, поставил крест на Ё-двигателе. К тому же в конструкции этого РЛД были и другие недостатки.

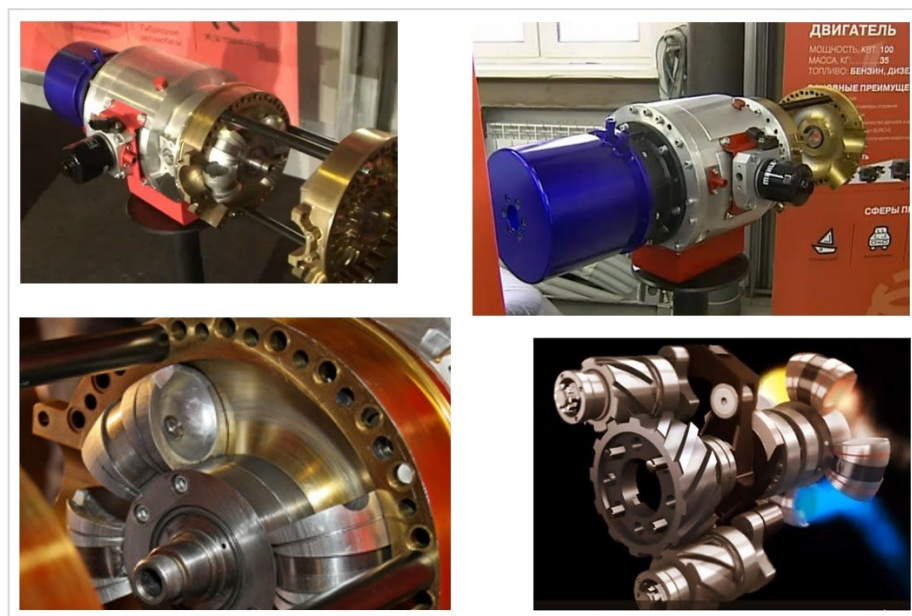


Рис. 13. Двигатель Ё-мобиля

Обсуждение

С целью систематизации разнообразных конструкций механизмов преобразования неравномерного движения роторов в равномерное вращение вала РЛД был проведен анализ доступных по данному вопросу источников [1-8].

Из множества классифицируемых конструкций, исключались те, которые не соответствовали возможности реализации всего комплекса преимуществ РЛД. Например, не рассматривались конструкции с возвратно-поступательным движением лопастей, которые не позволяют реализовать принцип передачи энергии между отдельными рабочими камерами и компактность конструкции.

Дальнейший анализ показал, что соответствующие концепции РЛД конструкции, за редким исключением, можно разделить на три группы.

1. Группа гармонично-синусоидальных схем, включающая в себя разнообразные типы передач, функционально отличающиеся плавным и равномерным изменением скоростей роторов в течение цикла (к ним относятся рычажные механизмы с вращающимися рычагами, рычажно-кулачковые механизмы, механизмы с эллиптическими шестернями, с шестернями сложных профилей и многие другие).

2. Группа экстремально-синусоидальных схем, включающая в себя разнообразные типы передач, функционально отличающихся относительно равномерным изменением скоростей роторов, но с явно выраженными экстремумами (к этой группе относится всё разнообразие синхронизаторов с планетарно-кривошипными механизмами, которые применяли в своих конструкциях такие изобретатели, как Кауэрц, Рольфсмейер, Моргадо и др. Такой же тип конструкции применялся в двигателе Ё-мобиля).

3. Группа схем синхронизации с останавливаемыми роторами (к этой группе относится синхронизатор со сдвоенным мальтийским механизмом и дифференциалом конструкции Аракеловых, а также конструкция Трауготта Чуди с роликово-кулачковым механизмом синхронизации).

На рис.14 показаны графики зависимостей угловых скоростей роторов ω от времени T (слева) и от углов α поворота роторов за цикл (справа). Графики демонстрируют принципиальные различия трех классифицированных схем синхронизации (на примере конструкций с рычажно-кулачковым, планетарно-кривошипным и кулачковым механизмами).

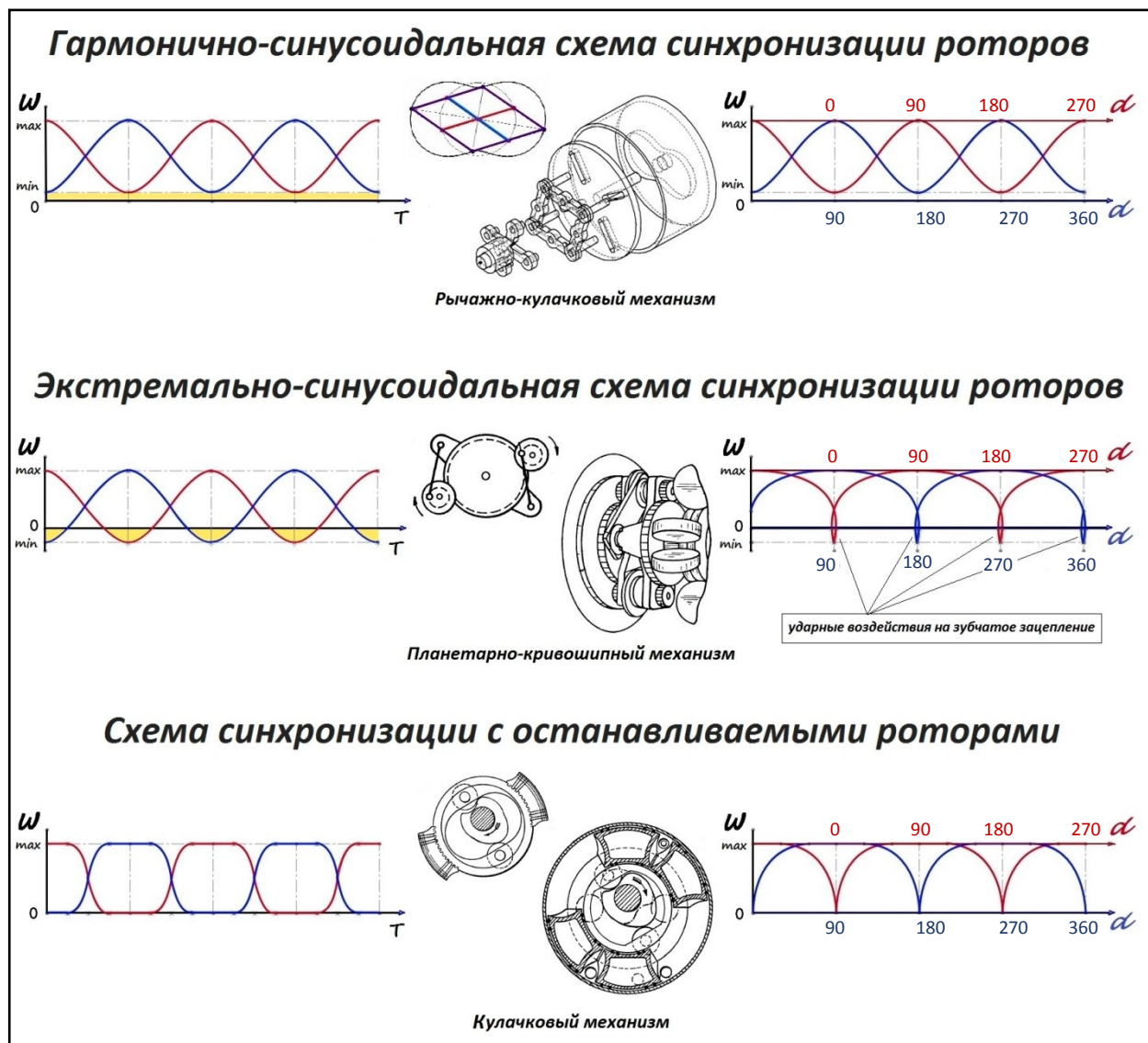


Рис. 14. Сравнение классифицированных схем синхронизации

Конструкции первой, гармонично-синусоидальной группы синхронизации имеют наибольшее количество разнообразных проектных решений, хотя и с мизерным процентом реализации.

В верхнем ряду на рис. 14 отображены два графика, относящиеся к этой группе схем синхронизации, типичным представителем которых является рычажно-кулачковый механизм. В конструкциях этой группы изменения скоростей роторов, как в зависимости от времени течения цикла, так и в зависимости от угла поворота роторов, происходят по гармоничному синусоидальному закону. Причем в таких механизмах скорость замедляющегося ротора никогда не достигает нулевого значения.

При такой схеме синхронизации обеспечивается высокая плавность преобразования неравномерного движения лопастей в равномерное вращение выходного вала. Однако

длительные периоды воздействия повышенных нагрузок на механизм через не останавливаемую в рабочем такте лопасть, препятствуют возможности достижения КПД на уровне современных турбопоршневых ДВС. Возможно, именно поэтому конструкция Псковского политехнического института реализована только в виде двигателя внешнего сгорания.

Вторая, наиболее распространенная в реализациях экстремально-синусоидальная схема, которая многократно применялась конструкторами в разных исполнениях в течение всей истории попыток создания РЛД, имеет более существенный и принципиальный недостаток. Несмотря на кажущуюся эффективность такой схемы, многие попытки ее применения претерпели неудачу. Конструкторы двигателя Ё-мобиля не зря обращали особое внимание на необходимость усиления планетарно-кривошипного механизма.

Лежащий в основе этой схемы принцип циклического взаимозависимого изменения скоростей роторов за счет использования кривошипа невозможен в условиях его применения в радиусных конструкциях. При работе такого механизма замедляющийся ротор в точке экстремума не просто останавливается, но и делает кратковременное движение в обратную сторону, придавая лопастям «хлыстовой» эффект.

Таким образом, основным недостатком конструкций, относящихся ко второй группе схем синхронизации, является неизбежность возникновения в этих механизмах больших вибрационных нагрузок, что принципиально не позволяет обеспечить высокие безотказность и ресурс.

Проект РЛД Моргадо, повторивший судьбу Ё-двигателя, также был основан на применении экстремально-синусоидальной схемы с планетарно-кривошипным механизмом.

Ввиду бесперспективности вторая группа схем синхронизации в дальнейшем исключена из сравнительного анализа.

Конструкции РЛД, включенные в третью группу, также имеют ряд недостатков. Так, у механизма со сдвоенными мальтийскими крестами недостатком является отсутствие плавности преобразования движения и большие ударные нагрузки в момент остановки мальтийского креста. У механизма Чуди с роликово-кулачковым механизмом синхронизации при остановке роторов ролики испытывают огромные нагрузки от воздействия расклинивающего их кулачка.

Успешных реализаций РЛД, построенных по схеме синхронизации с останавливаемыми роторами не было, но именно агрегаты такого типа, при доработке конструкции, могут оказаться наиболее эффективным воплощением идеи РЛД.

Такой тип синхронизации позволит силам инерции роторов наиболее гармонично участвовать в процессе преобразования энергии рабочего тела, а при остановленном одном из роторов с другого будет сниматься полезная нагрузка без лишних потерь и с максимальным коэффициентом преобразования.

С целью дальнейшего сравнительного анализа первой и третьей групп синхронизации на рис. 15 показаны графики процессов в рабочем такте РЛД на примере гармонично-синусоидальной схемы синхронизации.

На графике внизу рисунка показано изменение угловых скоростей вращения роторов за время одного цикла. За один цикл в каждой из четырех межлопастных рабочих камер происходит по четыре рабочих такта. Третий сектор соответствует текущему такту, показанному вверх рисунка. График зависимости условного давления в камере сгорания от времени (расположен в центральной части рисунка), иллюстрирует динамику изменения давления на поверхности двух лопастей в этой камере в данном такте.

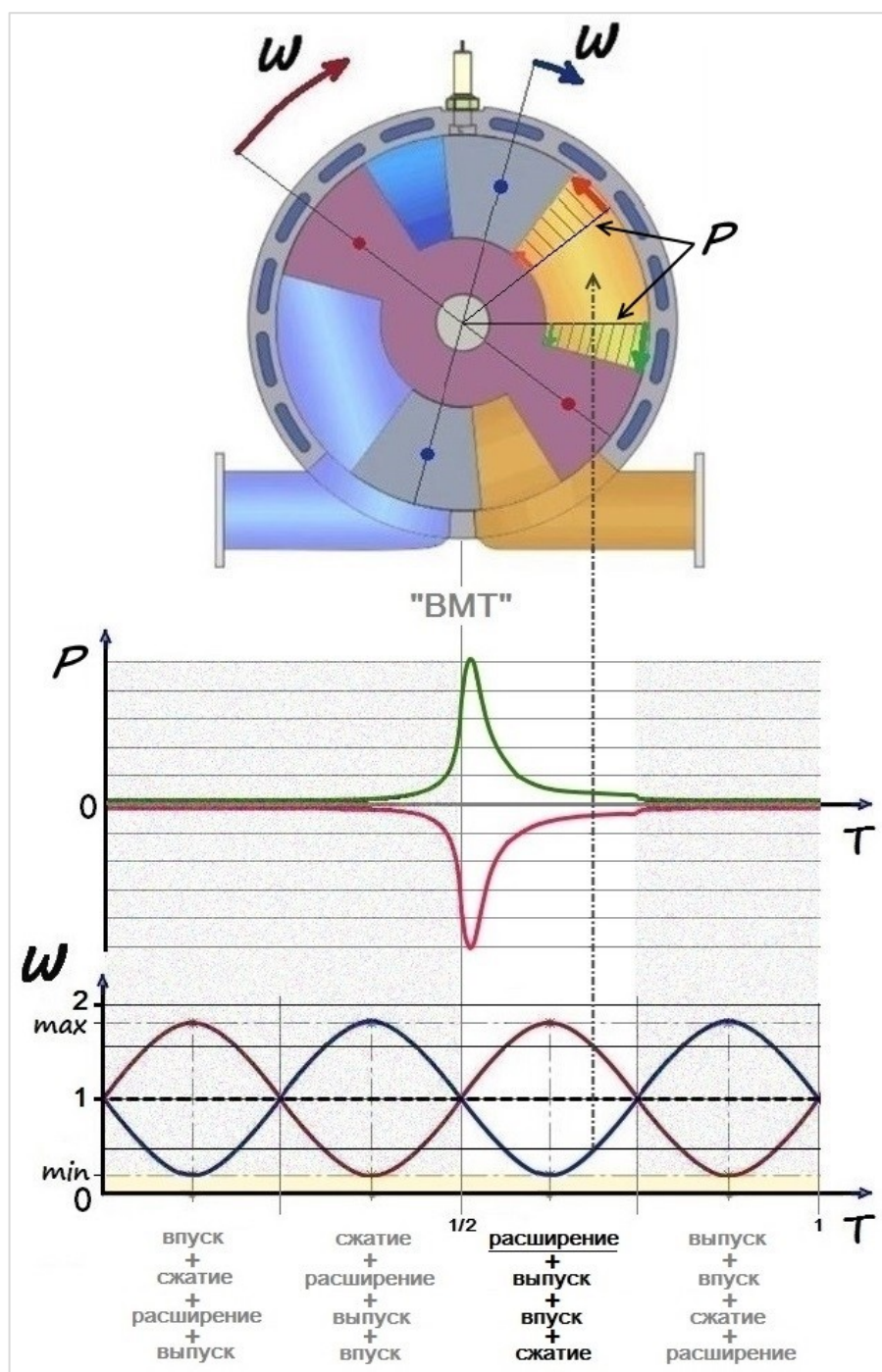


Рис. 15. Рабочий такт РЛД с гармонично-синусоидальной схемой синхронизации

Фрагмент, соответствующий третьему сектору на рис. 14, использован для сопоставлений, которые иллюстрирует рис. 16. На этом рисунке представлены графики зависимости угловых скоростей вращения роторов от времени на такте расширения для гармонично-синусоидальной схемы и схемы синхронизации с останавливаемыми роторами.

Эти же графики служат для отображения соответствующих значений коэффициентов, характеризующих передаточные отношения от роторов на суммирующий вал через механизм преобразования.

В верхней части рис. 16 помещен график изменения давления на поверхности лопастей. Воздействующая на лопасти сила давления рабочего тела создает суммирующий крутящий момент на валу двигателя посредством механизма преобразования.

Коэффициент трансформации $K_{тр}$ определяется по следующей формуле.

$$K_{тр} = (K_{п1} - K_{п2})/2 ,$$

где $K_{тр}$ - коэффициент трансформации;

$K_{п1}$ - передаточное отношения от 1-го ротора на суммирующий вал;

$K_{п2}$ - передаточное отношения от 2-го ротора на суммирующий вал.

На рис. 16 справа представлены соответствующие графики изменения коэффициента трансформации энергии рабочего тела в крутящий момент.

Из графиков видно, что при схеме синхронизации с останавливаемыми роторами у РЛД большее количество энергии рабочего тела будет трансформироваться в механическую энергию. Соответственно, стоит предположить, что у РЛД с гармонично-синусоидальной схемой синхронизации роторов несколько больше энергии рабочего тела будет теряться в виде тепла, рассеиваемого через элементы конструкции.

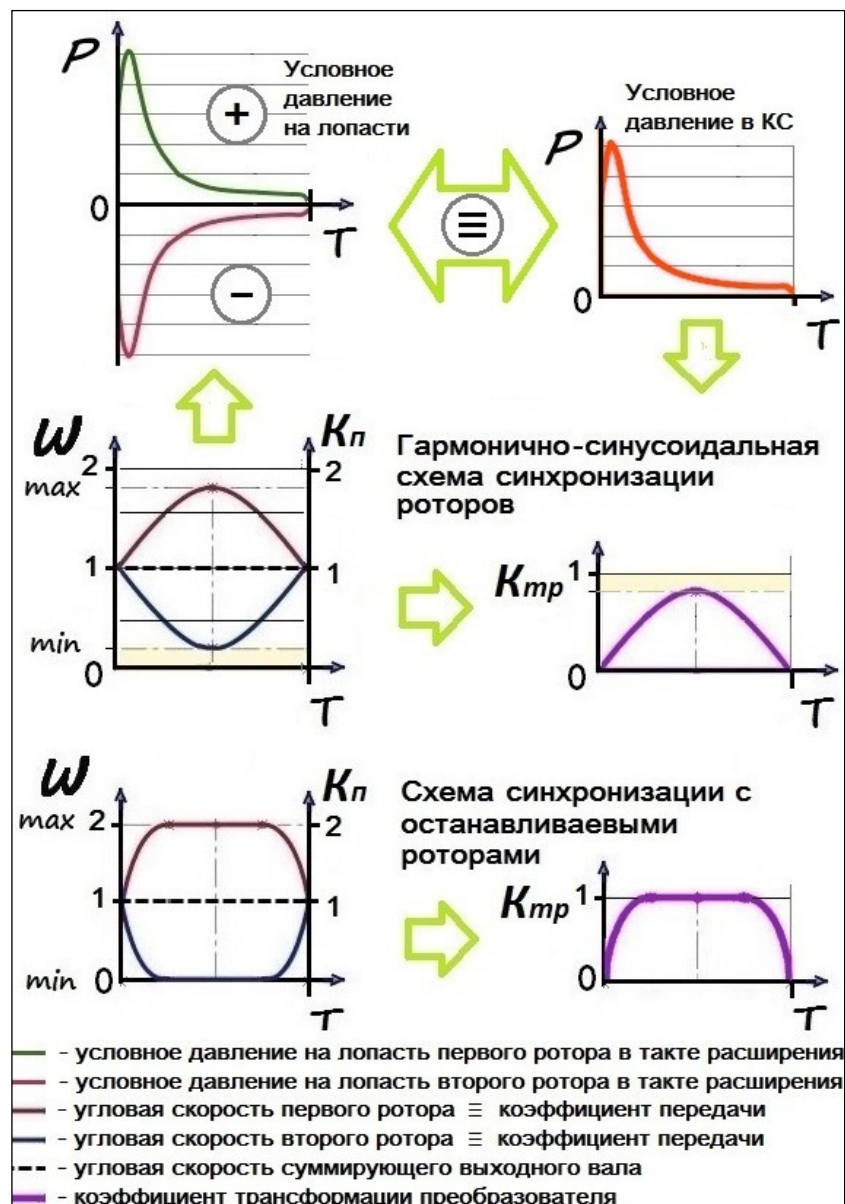


Рис. 16. Сравнение параметров трансформации

У схемы синхронизации с останавливаемыми роторами есть еще одно преимущество.

Изменение скорости вращения роторов во время рабочего цикла соответствует изменению их моментов импульса.

На рис. 17 графики угловых скоростей вращения роторов служат также для отображения соответствующих значений (в условных единицах) моментов импульса соответствующих роторов.

Перераспределение сил инерции роторов через механизм преобразования будет тем эффективнее, чем в большей степени этому будет способствовать соответствующее воздействие сил давления рабочего тела на лопасти роторов.

Чем эффективнее давление на лопасти будет способствовать остановке замедляющегося и разгону ускоряющегося роторов, тем меньше нагрузки на механизм преобразования.

Из рис. 17 видно, что процесс конвертации моментов импульса роторов более сконцентрирован в периоде воздействия максимальных значений давления рабочего тела при схеме синхронизации с останавливаемыми роторами.

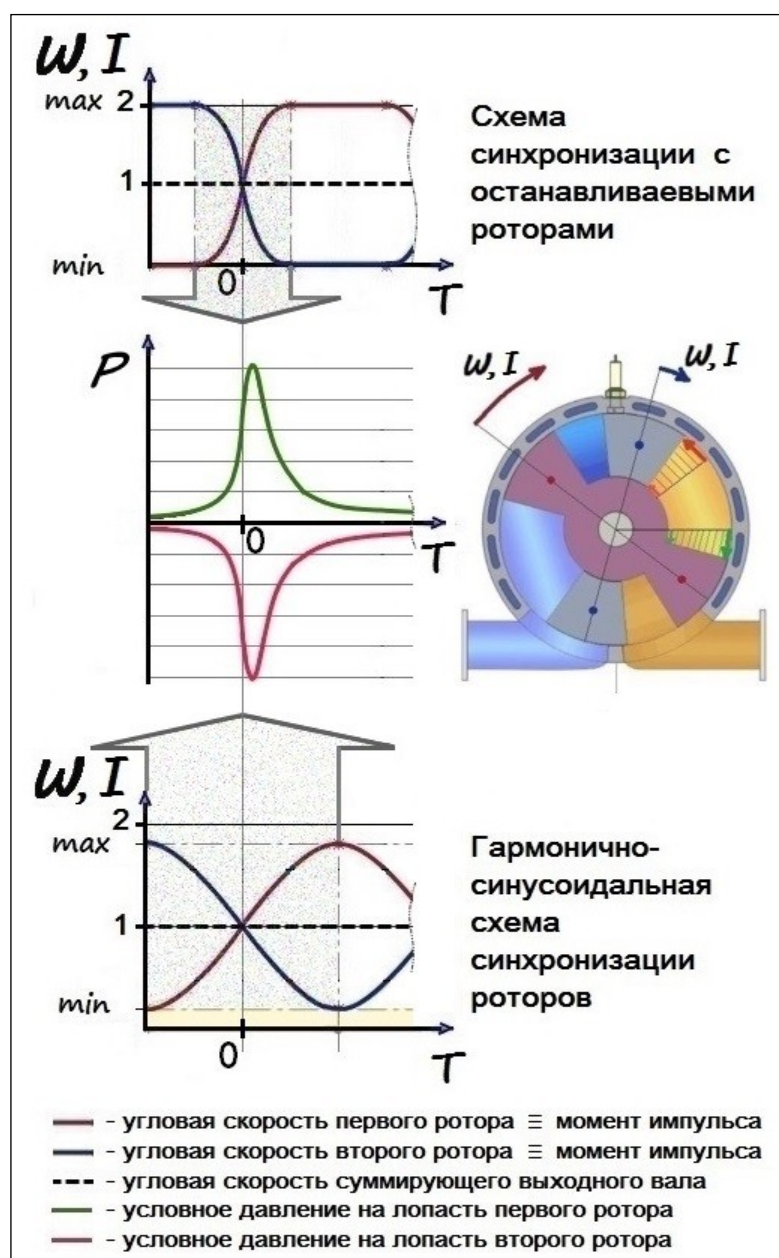


Рис. 17. Сравнение соотношения интенсивности изменения инерционных и барических нагрузок

Заключение

Ключевой проблемой реализации потенциально высокого технического уровня РЛД является эффективное преобразование неравномерного движения роторов в равномерное вращение выходного вала.

На основе анализа многочисленных мировых разработок РЛД выявлены три типа движения роторов в течение цикла (одного оборота):

- 1) плавное изменение угловых скоростей по синусоиде;
- 2) график изменения угловых скоростей похож на удлиненную циклоиду;
- 3) график изменения угловых скоростей напоминает обыкновенную циклоиду, что соответствует периодической попеременной остановке роторов.

Эти типы движения роторов положены в основу классификации РЛД и конструктивных схем механизмов синхронизации, многообразие которых распределено по трем группам:

- 1) группа гармонично-синусоидальных схем;
- 2) группа экстремально-синусоидальных схем;
- 3) группа схем синхронизации с останавливаемыми роторами.

В первую группу входят рычажные механизмы с вращающимися рычагами, рычажно-кулачковые механизмы, механизмы с эллиптическими шестернями, с шестернями сложных профилей и др.

Ко второй группе относятся синхронизаторы с планетарно-кривошипными механизмами. Усиленная конструкция синхронизатора такого же типа применялась в двигателе Ё-мобиля.

Третья группа включает синхронизаторы со сдвоенным мальтийским механизмом и роlikово-кулачковые механизмы синхронизации.

Последующий анализ выявленных групп конструктивных схем привел к следующим выводам:

1. В механизмах, относящихся к группе экстремально-синусоидальных схем синхронизации, неизбежны большие вибрационные нагрузки из-за кратковременного движения роторов в обратную сторону («хлыстовой» эффект), что принципиально не позволяет обеспечить высокие безотказность и ресурс. Поэтому данную группу схем следует признать бесперспективной.

2. Гармонично-синусоидальные схемы синхронизации обеспечивают высокую плавность преобразования неравномерного движения роторов в равномерное вращение выходного вала. Однако потери энергии, обусловленные движением замедляемого ротора во время рабочего такта, не позволяют достигнуть КПД на уровне современных турбопоршневых ДВС.

3. Схемы синхронизации с останавливаемыми роторами теоретически обеспечивают наиболее эффективное преобразование сил давления на лопасти ротора в крутящий момент на выходном валу двигателя. Однако попытки создать надежные механизмы, реализующие данную схему, пока не привели к успеху. Так, механизм со сдвоенными мальтийскими крестами создавал в моменты их остановки большие ударные нагрузки на детали и не обеспечивал плавность преобразования движения роторов во вращение выходного вала. В роlikово-кулачковом механизме синхронизации при остановке роторов роliки испытывали огромные нагрузки от воздействия расклинивающего их кулачка, что быстро вызывало их разрушение.

4. Конструктивная схема механизма синхронизации с останавливаемыми роторами является предпочтительной для создания эффективного РЛД. Поэтому поиск технического решения, обеспечивающего плавную и надежную работу механизма синхронизации, представляется целесообразным сосредоточить на схеме с останавливаемыми роторами.

Список литературы

1. Гуськов Г.Г. Необычные двигатели. – М.: Знание, 1974. – 64 с.
2. Гринёв Д.В. Конструктивные схемы и принципы работы роторно-лопастных машин. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. – 2014. – № 5. – С. 142-150.
3. Донченко М.А., Перминов А.Л., Гринев Д.В., Иванов А.Н. Обзор и анализ рычажных механизмов преобразования движения для роторно-лопастных машин. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 1-1. – С. 28-35.
4. Донченко М.А., Перминов А.Л., Гринев Д.В., Иванов А.Н.. Обзор и анализ зубчатых механизмов преобразования движения для роторно-лопастных машин. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 1-1. – С. 61-68.
5. Интернет ресурс <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/museum.htm> Toroidal internal-combustion engines.
6. Интернет ресурс <https://yandex.ru/video/preview/17613743249451030621/> Роторно-лопастной двигатель ё-мобиля.
7. Интернет ресурс поисковой системы ФИПС <https://www1.fips.ru/iiss/search.xhtml> – патенты №№ 1788305, 1629608, 1752991, 1618949, 2022183, 2063526, 2100653, 2101520, 2135777, 2135795, 2159342, 2168032, 2168033, 2176321, 2225513, 2257476, 2292463, 2292470, 2302539, 2345225, 2374526, 2387844, 2474705, 2496998, 2531107, 2565940, 2605863, 2619391, 2630717, 2651106, 160378.
8. Интернет ресурс поисковой системы USPTO <https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/static/pages/ppubsbasic.html> – патенты №№ US3356079A, US3381669A, US6739307B2.

АВТОР

Зайцев Андрей Алексеевич, a.zaitsev@list.ru, руководитель проекта РЛД ООО «АЗАРТ» (ОПН Сколково 1123493).

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2023. № 3. pp. 16 – 33.*

DOI:

Received: 23.07.2023

Accepted for publication: 08.08.2023

© International Public Organization “Integration strategy”

Overview and analysis of world developments of rotary-vane engine

Andrey A. Zaytsev

a.zaitsev@list.ru AZART LLC (ID Skolkovo
1123493), Russian Federation

The article is devoted to the review of the known designs of rotary-vane engines (RVE). The advantages of the RVE include high liter capacity, the absence of a gas distribution mechanism, ease of implementation of workflow management and potentially high efficiency.

Based on the results of the analysis of the structures, insurmountable shortcomings were identified that did not allow the use of RVE in practice.

The systematization of RVE design schemes based on the principle of converting the uneven motion of the rotors into a uniform rotation of the output shaft is proposed. According to this principle, three groups have been identified: a group of harmonic-sinusoidal circuits; a group of extreme-sinusoidal circuits and a group of synchronization circuits with stopped rotors.

It is established that a promising direction for improving the design schemes of RVE is a scheme with stopable rotors. This scheme theoretically provides the most efficient conversion of the pressure forces on the rotor blades into the torque on the output shaft of the engine.

Keywords: rotary-vane engine, the mechanism for converting the uneven movement of the rotors into a uniform rotation of the output shaft, rotor synchronization.

References

1. Guskov G.G. Unusual engines. - M.: Knowledge, 1974. - 64 p.
2. Grinev D.V. Structural schemes and principles of operation of rotary-vane machines. Bulletin of the Pskov State University. Series: Economy. Right. Control. - 2014. - No. 5. - P. 142-150.
3. Donchenko M.A., Perminov A.L., Grinev D.V., Ivanov A.N. Review and analysis of lever mechanisms for transforming motion for rotary-vane machines. News of the Tula State University. Technical science. - 2009. - No. 1-1. - S. 28-35.
4. Donchenko M.A., Perminov A.L., Grinev D.V., Ivanov A.N. Review and analysis of gear mechanisms of motion transformation for rotary-vane machines. News of the Tula State University. Technical science. - 2009. - No. 1-1. - S. 61-68.
5. Internet resource <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/museum.htm> Toroidal internal-combustion engines.
6. Internet resource <https://yandex.ru/video/preview/17613743249451030621/> Yo-mobile

rotary-vane engine.

7. Internet resource of the FIPS search engine <https://www1.fips.ru/iiss/search.xhtml> - patents No. 1788305, 1629608, 1752991, 1618949, 2022183, 2063526, 2100653, 2101520, 2135777, 2135 795 2159342 2168032 2168033 2176321 2225513 2257476 2292463 2292470 2302539 2345225 2374526 2387844 496998, 2531107, 2565940, 2605863, 2619391, 2630717, 2651106, 160378.

8. Internet resource of the USPTO search engine <https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/static/pages/ppubsbasic.html> - patents No. US3356079A, US3381669A, US6739307B2.

AUTHOR

Andrey A. Zaytsev, a.zaitsev@list.ru, project manager of the RVE of “AZART” LLC (ID Skolkovo 1123493).