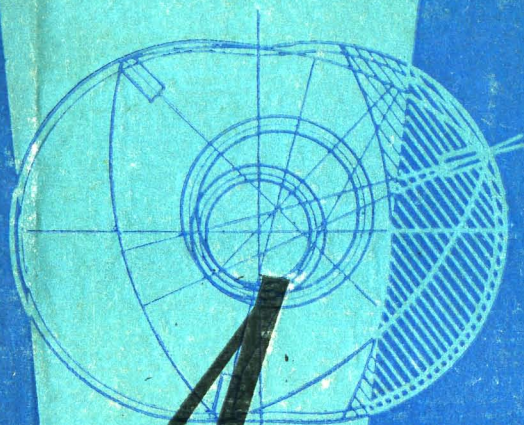


451
X19

Н. С. ХАНИН, С. Б. ЧИСТОЗВОНОВ



АВТОМОБИЛЬНЫЕ

РОТОРНО-
ПОРШНЕВЫЕ
ДВИГАТЕЛИ



Н. С. ХАНИН, С. Б. ЧИСТОЗВОНОВ

621.451
X19

АВТОМОБИЛЬНЫЕ РОТОРНО-ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

221633

БИБЛИОТЕКА
Запорожского
машиностроительного
института



МАШГИЗ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1964

В книге рассмотрены различные схемы роторно-поршневых двигателей, предназначенных для автомобилей и других легких самоходных установок.

Приведены данные об особенностях протекания рабочих процессов в таких двигателях. Подробно описаны роторно-поршневые двигатели с планетарным движением ротора.

Рассмотрены также направления дальнейших работ по развитию двигателей данного класса.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, интересующихся роторными двигателями.



Рецензент канд. техн. наук **И. К. Агеев**

Редактор инж. **Л. И. Егоркина**

Редакция литературы по автомобильному и транспортному
машиностроению

Зав. редакцией инж. **И. М. Бауман**

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы усилился интерес к проблеме роторных или роторно-поршневых двигателей внутреннего сгорания для автомобилей и других самоходных машин.

Основная идея таких двигателей состоит в замене кривошипно-шатунных механизмов поршневых двигателей другими механизмами с вращательным движением звеньев, но с сохранением поршней, разделяющих проточную часть на отсеки, объем которых циклически изменяется.

В отличие от газотурбинных двигателей в роторно-поршневых двигателях должны происходить те же рабочие циклы, что и в поршневых.

Видоизменение движения поршня (замена кривошипно-шатунного механизма на механизм с вращательным движением звеньев) позволяет значительно повысить компактность и снизить металлоемкость двигателя.

Повышению интереса к роторно-поршневым двигателям со стороны инженерно-технических работников и изобретателей способствовали многочисленные сообщения в периодической печати о двигателях типа Ванкель, образцы которых находятся в стадии совершенствования. Однако информация о таких двигателях в значительной мере носит рекламный характер.

Объем публикаций об особенностях рабочих процессов в роторных двигателях весьма ограничен.

Многочисленные изобретатели, работающие в данной области, недостаточно осведомлены о деятельности своих предшественников и поэтому часто повторно предлагают уже изобретенные схемы. Вследствие этого в данной книге описаны основные виды и схемы роторных двигателей, произведено их сравнение, а также изложены особенности рабочих процессов в этих двигателях. Кроме того, приведены обзор конструкций роторно-

поршневых двигателей с планетарным движением ротора типа Ванкель и результаты испытаний на основании литературных материалов. В заключение дается анализ направлений развития роторно-поршневых двигателей.

Книга рассчитана на конструкторов, технологов, исследователей и других лиц, интересующихся роторными двигателями.

В данной книге основные величины даются в Международной системе единиц (СИ), а в скобках приводятся их значения в старых системах.

С 1 января 1963 г. введен в действие ГОСТ 9867-61 «Международная система единиц», который рекомендует предпочтительное применение Международной системы единиц. По этой системе основной единицей длины является метр (*м*), массы — килограмм (*кг*), времени — секунда (*сек*), силы электрического тока — ампер (*а*), термодинамической температуры — градусы по шкале Кельвина ($^{\circ}\text{К}$), силы света — свеча (*св*). Производная единица силы — ньютон (*н*) равна силе, которая телу массой 1 *кг* сообщает ускорение 1 *м/сек²*. В качестве единицы давления (механического напряжения) принимается давление в 1 *н* на 1 *м²* (*н/м²*). Эта единица давления мала, поэтому в технических расчетах давление рекомендуется выразить в *кн/м²* (1 килоньютон = 1000 ньютонов).

В Международной системе единиц отсутствует в качестве физической величины удельный вес, под которым часто понимают отношение весового количества вещества, определяемого на рычажных весах и выражаемого в единицах массы, к его объему. Вместо этого понятия следует применять плотность (объемная масса) с основной единицей измерения *кг/м³*.

Понятие удельный вес (ГОСТ 7664-61) с размерностью *н/м³*, *кГ/м³*, *дин/см³* представляет собой силу притяжения единицы объема вещества к Земле и не является справочной величиной, так как сила притяжения не постоянна и зависит от ускорения силы тяжести в точке измерения. Поэтому удельный вес следует определять по формуле

$$\gamma = \rho g \text{ н/м}^3,$$

где ρ — плотность вещества в *кг/м³*;
 g — истинное ускорение силы тяжести в *м/сек²*.

Ниже приводятся соотношения между единицами давления в прежних системах и единицами по системе СИ:

$$1 \text{ кг/см}^2 = 1 \text{ ат} = 98066,5 \text{ н/м}^2 = 0,98 \text{ бар};$$

$$1 \text{ кг/м}^2 = 1 \cdot 10^{-4} = 9,80665 \text{ н/м}^2;$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,332 \text{ н/м}^2;$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,80665 \text{ н/м}^2.$$

В качестве единицы работы и количества теплоты в системе СИ принимается универсальная единица — джоуль (*дж*), равная произведению силы в 1 *н* на путь в 1 *м*. Соотношение между единицами работы следующее:

$$1 \text{ кГм} = 9,80665 \text{ дж};$$

$$1 \text{ ккал} = 4186,8 \text{ дж};$$

$$1 \text{ л. с. ч.} = 2,65 \cdot 10^6 \text{ дж};$$

$$1 \text{ квт. ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ дж}.$$

За универсальную единицу мощности в системе СИ принимают ватт (*вт*), равный работе в 1 *дж*, совершенной в 1 *сек* (1 *л. с.* = 735,499 *вт*).

Более крупные и мелкие (кратные и дольные) единицы измерения, по сравнению с приведенными в системе СИ, образуются путем их уменьшения или деления на степень числа 10. Наименование кратных и дольных единиц получают прибавлением приставок к наименованиям основных и производных единиц.

В тех случаях, когда производная единица не имеет собственного наименования, а образована из наименований нескольких единиц, основываясь на ГОСТе 7663-55, десятичную приставку необходимо присоединять ко всей единице в целом, т. е. к наименованию первой единицы, стоящей в числителе (например, меганьютон на квадратный метр, а не ньютон на квадратный миллиметр).

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

ДВС — двигатели внутреннего сгорания.

ПД — поршневые двигатели.

ГТД — газотурбинные двигатели.

РПД — роторно-поршневые двигатели.

p_e — среднее эффективное давление в барах.

V_h — рабочий объем отсека в $\text{дм}^3(\text{л})$.

n_e — число оборотов вала в минуту.

n_p — число оборотов ротора в минуту.

\bar{F}_a — максимальный коэффициент полезного использования площади поперечного сечения отсека РПД.

\bar{V}_e — коэффициент полезного использования габаритного объема.

η_V — коэффициент наполнения.

α — коэффициент избытка воздуха.

g_e — удельный расход топлива в $\text{г}/(\text{см} \cdot \text{сек})$ [$\text{г}/(\text{л} \cdot \text{с} \cdot \text{ч})$].

$g_{e \min}$ — минимальный удельный расход топлива в $\text{г}/(\text{см} \cdot \text{сек})$ [$\text{г}/(\text{л} \cdot \text{с} \cdot \text{ч})$].

r — радиус начальной окружности производящего круга в мм.

R — радиус начальной окружности обкатываемого круга в мм.

e — эксцентриситет (для эпитрохоиды $e = r - R$) в мм.

r_T — радиус образующей точки производящего круга в мм.

$\bar{r}_T = \frac{r_T}{r}$ — относительная величина радиуса r_T .

l_p — длина (вдоль оси) ротора.

$\bar{l}_p = \frac{l_p}{r}$ — относительная длина ротора.

N_e — мощность в квт ($\text{л} \cdot \text{с}$).

РАЗВИТИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В народном хозяйстве развитых в промышленном отношении стран все большее значение приобретают автомобили и тракторы. Рациональная численность автомобильного парка при населении 100 млн. человек должна составлять несколько миллионов автомобилей. В соответствии с этим суммарная мощность автомобильных двигателей исчисляется сотнями миллионов киловатт, что соизмеримо с суммарной мощностью электрических станций высокоразвитой в промышленном отношении страны при расчете на 100 млн. человек.

Программой Коммунистической партии Советского Союза предусмотрено интенсивное развитие автомобильного транспорта в СССР.

Вследствие использования тракторов для транспортных работ целесообразно приближение численности тракторного парка к автомобильному. В связи с этим, а также в связи с повышением скоростей движения тракторов уменьшается различие в технических требованиях, предъявляемых к автомобильным и тракторным двигателям. Все шире для тракторов применяются дефорсированные двигатели автомобильного типа.

Массовость применения автомобилей и тракторов приводит к большим затратам на их производство и эксплуатацию. Это определяется в первую очередь расходом моторного топлива, количеством металла, необходимого для изготовления и ремонта машин, и очень большими затратами труда на производство, обслуживание и ремонт автомобилей и тракторов.

Уровень показателей производительности, топливной экономичности, металлоемкости, компактности и срока службы автомобиля в первую очередь зависит от соответствующих качеств его двигателя. Поэтому даже неко-

торое улучшение этих показателей автомобильных двигателей дает большой экономический эффект. Следовательно, несмотря на развитие новых отраслей техники, все большее внимание необходимо уделять усовершенствованию автомобильных двигателей.

Повышение скоростей движения автомобилей, их грузоподъемности и топливной экономичности возможно прежде всего в результате увеличения мощности и эффективного к. п. д. автомобильных двигателей.

В связи с ростом мощности автомобильных двигателей все большее значение приобретают их компактность и вес. Среди удельных показателей компактности и веса различных двигателей наибольшее практическое значение имеет удельная мощность, т. е. мощность, приходящаяся на 1 м^3 габаритного объема, и в большей мере мощность, приходящаяся на 1 дм длины двигателя, а также удельный вес двигателя.

Значение удельных показателей автомобильных двигателей различно для автомобилей разных классов. Для массовых автомобилей средней и большой грузоподъемности особенно большое значение имеет эффективный к. п. д. двигателя, так как доля расходов на топливо в себестоимости перевозок этими автомобилями сравнительно велика.

Для грузовых автомобилей малой грузоподъемности и легковых автомобилей первостепенное значение имеет удельная мощность, что обусловлено малыми весом и габаритами таких автомобилей.

По мере роста удельной мощности, снижения удельного веса автомобильных поршневых двигателей и приближения их индикаторного к. п. д. к к. п. д. идеального цикла поршневого двигателя решение задач дальнейшего увеличения рабочих показателей этих двигателей все более усложняется. Поэтому темпы повышения показателей, в частности, быстроходности двигателей относительно невысоки, несмотря на очень большие затраты труда на опытно-конструкторские и научно-исследовательские изыскания по автомобильным двигателям. Эти обстоятельства, а также усовершенствование материалов и технологии массового производства, определяют целесообразность развития объема поисковых работ для радикального улучшения показателей автомобильных поршневых двигателей и создания двигателей новых видов.

Очевидно, что типаж создаваемых двигателей тесно связан с экономикой страны. При работе над перспективными двигателями необходимо также учитывать развитие техники зарубежных стран.

Одной из характерных черт развития промышленного производства во второй половине XX в. является прогрессивное увеличение темпов добычи жидкого и газообразного топлива. Суммарная добыча жидкого топлива с 1936 по 1961 г. по данным, опубликованным ООН, увеличилась более чем в 6 раз. Темпы роста производства жидкого топлива выше темпов развития машиностроения. Еще более высокие темпы повышения потребления газообразного топлива.

Долголетняя практика выявила ряд бесспорных удобств применения для автомобилей жидкого топлива. К ним относятся большой запас хода автомобилей при умеренных размерах емкостей для топлива, хорошая транспортабельность жидкого топлива в разнообразных климатических условиях, простота организации системы заправки автомобилей топливом, а также простота устройства отопления их в зимних условиях. Среди различных видов жидкого топлива заслуживает внимание сжиженный газ. Применение этого топлива для городского транспорта позволяет решить проблему уменьшения токсичности отработавших газов.

Однако следует отметить, что использование сжиженных газов значительно, сложнее, чем применение обычных жидких топлив нефтяного происхождения.

Установка на автомобилях двигателей, работающих на ядерном топливе, пока не представляется возможной из-за очень большого веса биологической защиты и электродвигателей и сложности организации производства и эксплуатации двигателей данного класса.

Использование автомобилей с электрическими аккумуляторами рационально лишь в некоторых отраслях как из-за большого веса аккумуляторов и электродвигателей, так и вследствие сравнительно малого запаса хода таких автомобилей. Следует отметить, что суммарный к. п. д. использования энергии в автомобилях данного класса, как и в троллейбусах, пока значительно ниже к. п. д. тепловых двигателей, работающих на жидком топливе.

Удельный вес тяговых электродвигателей примерно вдвое выше удельного веса двигателей внутреннего сгорания. Отношение средних показателей удельного веса тяговых электродвигателей к среднему удельному весу тепловых автомобильных двигателей за истекшее десятилетие не снизилось. Средний к. п. д. тяговых электродвигателей все еще невысок — не превышает 0,8. Этим определяются ограничения в применении электродвигателей на автомобилях как при их питании от аккумуляторов, так и при использовании так называемых топливных элементов, где химическая энергия топлива непосредственно преобразуется в электрическую. Кроме того, удельный вес топливных элементов пока еще значительно выше удельного веса тепловых двигателей.

Следовательно, на планируемый период развития народного хозяйства для автомобильных двигателей новых видов целесообразно предусматривать применение жидкого топлива, в основном нефтяного происхождения. Поэтому способ преобразования химической энергии топлива в механическую работу, необходимую для движения автомобиля, в перспективных автомобильных двигателях должен быть основан на применении термодинамического цикла, позволяющего преобразовывать тепловую энергию, выделяющуюся при сжигании топлива, в механическую.

Таким образом, до появления таких результатов в области физики и химии, которые позволили бы ориентироваться на использование для автомобилей силовых установок иных видов, обеспечивающих автомобилю большой радиус действия при малом весе, наиболее перспективными остаются тепловые двигатели.

За последнее десятилетие наряду с продолжением работ по усовершенствованию тепловых поршневых автомобильных двигателей (ПД) значительное развитие получили поисковые работы, направленные на создание теплосиловых установок других видов. Большое внимание уделяется, в частности, созданию газотурбинных двигателей (ГТД) для автомобилей, что стимулируется успехами применения ГТД в авиации. В последние годы мировая техническая пресса изобилует публикациями о тепловых двигателях роторно-поршневого типа для автомобилей.

Основными элементами принципиальной схемы роторно-поршневого двигателя являются один или несколько роторов 1 (фиг. 1), совершающих вращательное или вращательно-возвратное движение по отношению к корпусу 2. Последний, в свою очередь, также может вращаться вокруг неподвижной оси.

Вследствие изменения относительного расположения роторов и корпуса по мере вращения объем рабочего тела, заключенного между этими элементами, периодически меняется, что дает возможность осуществлять в роторно-поршневых двигателях рабочий цикл, аналогичный рабочим циклам поршневых двигателей.

Над созданием двигателей роторно-поршневого типа многочисленные изобретатели работали еще до появления первых паровых двигателей И. Ползунова и Дж. Уатта.

Известно, что идея паровых роторно-поршневых двигателей выдвигалась еще Рамели в 1588 г., Паппенгеймом в 1636 г., Гуерке в 1650 г., Гюйгенсом в 1673 г., Папеном в 1681 г., Амонтонсом в 1699 г., Ньюкоменом в 1711 г. и Уаттом в 1782—1788 гг. Сотрудник Дж. Уатта Мардок в 1799 г. построил роторно-поршневой двигатель шестеренчатого типа (фиг. 2).

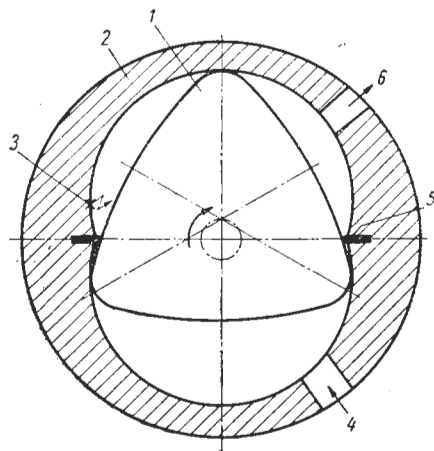
Среди известных изобретателей и ученых, работавших над созданием роторно-поршневых двигателей, следует отметить Лавалья, Парсонса, Де-Лаво и др.

Все эти ранние попытки создания роторно-поршневых двигателей, так же как и абсолютное большинство последующих, оказались безуспешными главным образом из-за несовершенства уплотнения рабочих отсеков между роторами и корпусом. Вследствие чрезмерных утечек рабочего тела через сопряжения этих элементов к. п. д. роторно-поршневых двигателей был очень низким, а надежность неудовлетворительной. Поэтому ряд специалистов в области тепловых двигателей относил схемы роторно-поршневых к разряду неосуществимых.

До последнего времени большинство изобретателей в области роторно-поршневых двигателей сосредоточивали свои усилия на создании новых схем механизмов роторных двигателей. Углубленной разработки систем уплотнений рабочих отсеков роторно-поршневых двигателей, как правило, не производилось. Лишь в последние

годы Ф. Ванкель и ряд других изобретателей предложили несколько схем уплотнений, показавших при испытаниях сравнительно высокую эффективность.

Это позволило создать к 1958—1959 гг. несколько конструкций роторно-поршневых двигателей — НСУ, Кертис-Райт и др., пригодных для опытной установки на автомобили.

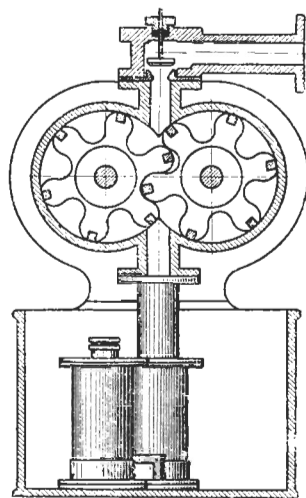


Фиг. 1. Принципиальная схема роторного двигателя:

1 — ротор; 2 — корпус; 3 — свеча зажигания; 4 — впускное окно; 5 — элементы уплотнения; 6 — выпускное окно.

Первые результаты испытаний этих двигателей были обнадеживающими. Весовые показатели и компактность роторно-поршневых двигателей оказались значительно более высокими, чем соответствующие показатели поршневых и газотурбинных двигателей.

Количество коллективов и лиц, работающих в области роторно-поршневых двигателей для автомобилей, резко возросло. Однако направленность этих разработок в ряде случаев представляется спорной или даже ошибочной. Не всегда учитывается опыт изобретателей, работавших ранее над этой проблемой (особенно в области уплотнения).



Фиг. 2. Схема роторного шестеренчатого двигателя Мардок.

Ввиду безусловной перспективности направления поисковых работ по роторно-поршневым автомобильным двигателям и большого интереса, проявленного к данной проблеме, целесообразно рассмотреть сложившиеся направления разработок двигателей подобного вида и остановиться на основных задачах, которые нужно решить для того, чтобы ускорить внедрение этих двигателей в производство.

Работы по созданию таких двигателей целесообразны только в том случае, если при их реализации могут быть получены определенные технико-экономические преимущества по сравнению с тепловыми автомобильными двигателями других видов с учетом перспектив развития последних.

Поэтому изложению проблем развития роторно-поршневых двигателей должно быть предпослано краткое рассмотрение уровня и тенденций развития тепловых двигателей других видов для автомобилей и анализ их недостатков.

Как известно, автомобильные ПД прошли длительную эволюцию и в настоящее время достигли высокого совершенства. Они являются самыми распространенными видами первичных двигателей. Наименьший удельный вес серийных автомобильных ПД уже доведен до 0,95—1,09 кг/квт (0,7—0,8 кг/л. с.), и возможно дальнейшее снижение веса путем повышения числа оборотов коленчатого вала. Эффективный к. п. д. лучших автомобильных дизелей доведен до 0,39, а карбюраторных двигателей — до 0,31. Срок службы автомобильных двигателей до ремонта в ряде случаев превышает 10 тыс. ч.

Однако несмотря на относительно высокую компактность и небольшой удельный вес ПД современных моделей, возможности дальнейшего улучшения этих параметров уже невелики. Основной причиной этого является принципиальное несовершенство схемы ПД, что определяет небольшую долю полезного использования его габаритного объема, обычно не превышающую 0,015.

Повышению компактности ПД препятствует ограниченность наибольшего значения средней скорости поршня, которая за последние 25 лет не возросла. Увеличение средней скорости поршня и числа оборотов коленчатого вала затруднено из-за большой амплитуды знакопеременных сил инерции деталей кривошипно-

шатунного механизма, а также связанного с этим увеличением удельных нагрузок на подшипники коленчатого вала по мере повышения его числа оборотов. Эта амплитуда прямо пропорциональна средней скорости поршня, а также угловой скорости коленчатого вала. Наряду с этим увеличение скорости поршня приводит к росту механических потерь и снижению к. п. д. двигателя.

При ограниченном значении скорости поршня и определенном среднем эффективном давлении повысить мощность ПД с данным числом цилиндров можно лишь путем снижения числа оборотов коленчатого вала, что приводит к увеличению удельного веса двигателя при повышении мощности более 220—290 кВт (300—400 л. с.).

Другим фактором, препятствующим повышению компактности и снижению удельного веса карбюраторных двигателей, являются недопустимое увеличение напряженности деталей клапанных газораспределительных механизмов и нарушение их нормальной работы при повышении числа оборотов коленчатого вала. Следует также отметить, что применение этих механизмов в случае верхнего расположения клапанов приводит к резкому усложнению конструкции ПД, что является их существенным недостатком по сравнению с ГТД.

Топливная экономичность автомобильных ПД сравнительно высока, но дальнейшее ее улучшение очень ограничено.

Степени сжатия у современных серийных автомобильных ПД относительно высоки. Поэтому дальнейшее увеличение степени сжатия уже не приводит к значительному повышению термического к. п. д. цикла, а следовательно, и индикаторного к. п. д. поршневых двигателей. В то же время по мере повышения степени сжатия увеличиваются абсолютные механические потери в двигателе и может снижаться механический к. п. д., который у современных автомобильных ПД на номинальном режиме относительно мал — не более 0,8. Большая относительная величина механических потерь является принципиальным недостатком ПД.

Таким образом, возможности повышения эффективного к. п. д. путем увеличения степени сжатия невелики.

Другие возможности повышения эффективного к. п. д. у ПД, определяемые увеличением относительного к. п. д.,

весьма ограничены. Необходимо отметить и положительные качества ПД. Их топливная экономичность относительно высока, что объясняется сжиганием большей части топлива при постоянном или мало изменяющемся объеме. Поэтому в ПД очень высокие давления и температуры заряда достигаются без чрезмерной затраты энергии на сжатие и проталкивание воздуха или смеси и без чрезмерных температурных напряжений стенок камеры сгорания и органов газораспределения.

Элементы уплотнения цилиндров ПД в отношении герметичности доведены до высокой степени совершенства, однако, при их действии возникают большие механические потери, кроме того, сложен ремонт сопрягаемых поверхностей.

Детали ПД изготавливаются из относительно дешевых материалов. Срок службы наиболее дорогих корпусных деталей ПД исчисляется несколькими десятками тысяч моточасов. Трудоемкость изготовления автомобильных ПД в зависимости от масштабов выпуска и их мощности составляет 6—60 станкоочасов. Текущий и средний ремонт ПД и их обслуживание в случае необходимости могут быть произведены при минимальном комплекте оборудования.

К положительным качествам ПД следует отнести также безопасность их работы и высокую надежность, что достигается без применения сложных систем регулирования и дорогих методов контроля. Случайные разрушения деталей ПД, а также нарушение действия органов управления не приводят к катастрофическим последствиям.

Основным видом тепловых двигателей, конкурирующим с ПД, являются ГТД, которые пока еще не выпускаются крупными сериями автомобильной промышленности. Однако опубликованные данные по результатам испытаний опытных образцов автомобильных ГТД в совокупности с материалами теоретических исследований позволяют отметить следующее.

До последнего времени эффективный к. п. д. газотурбинных двигателей был ниже, чем поршневых, хотя разница в эффективных к. п. д. этих двигателей постепенно сокращается.

Теоретически в ГТД можно получить более высокий эффективный к. п. д., чем в поршневых двигателях.

Наибольший к. п. д. регенеративного цикла, описанного в диапазоне предельных температур: максимальной T_{\max} и минимальной T_{\min} цикла ГТД [2],

$$\eta_{ГТД} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{ад}}$$

где T_{\min} — температура отработавших газов;

$T_{ад}$ — температура конца адиабатического расширения в турбине, пропорциональная T_{\max} .

Из этой формулы следует, что к. п. д. цикла ГТД может быть повышен увеличением максимальной температуры цикла или уменьшением температуры отработавших газов. Повышение максимальной температуры цикла ограничено жаропрочностью материалов для турбин.

Темп повышения предельной температуры T_{\max} за последнее десятилетие был низким — в среднем не более 10°C в год. Увеличение этой температуры стало возможным только вследствие увеличения содержания дефицитных легирующих материалов в сплавах, применяемых для изготовления напряженных деталей.

Таким образом, повышение к. п. д. цикла ГТД путем увеличения температуры T_{\max} ограничено. Значительно большие возможности повышения к. п. д. заключены в снижении температуры отработавших газов в результате применения регенеративных циклов.

Однако при использовании регенеративных циклов в ГТД сравнительно невысокой мощности (менее 150 кВт) такие двигатели не будут иметь преимуществ в отношении веса и компактности по сравнению с карбюраторными двигателями. Удельный вес и компактность ГТД ухудшаются по мере снижения их мощности.

Бесспорные преимущества в отношении веса и компактности в сравнении с ПД могут иметь лишь ГТД, выполненные по сложным схемам при большой (более 400 кВт) мощности, или же неэкономичные агрегаты малой мощности, в которых реализуются простейшие циклы.

К существенным недостаткам ГТД по сравнению с ПД следует отнести высокую стоимость и дефицитность материалов, применяемых для изготовления деталей турбины, а также ограниченный срок службы наиболее тру-

доемких и дорогих деталей, что объясняется ползучестью их материала при высоких температурах, а также износом деталей высокоскоростных редукторов и подшипников. Надежная работа ГТД может быть обеспечена только при безотказной работе систем автоматического регулирования. Выход из строя этих систем, а также несовершенство изготовления ГТД могут привести к аварии.

Таким образом, как ПД, так и ГТД имеют определенные характерные недостатки, а возможности улучшения их показателей ограничены. Для первых некоторые из недостатков усугубляются при больших мощностях, а для вторых — при малых.

Поэтому основной целью при разработке автомобильных двигателей новых видов, к которым относятся роторно-поршневые двигатели, должно быть устранение недостатков, характерных для ПД и ГТД, при одновременном повышении компактности и уменьшении удельного веса по сравнению с ГТД и ПД.

* * *

К основным задачам, которые обычно ставятся при создании роторно-поршневых двигателей, надо отнести следующие:

а) повышение компактности конструкции по сравнению с поршневыми двигателями; увеличение доли полезного использования габаритного объема для размещения рабочих отсеков;

б) повышение скоростного режима двигателя путем увеличения числа оборотов роторов и валов отбора мощности по сравнению с числом оборотов коленчатых валов ПД; для этого стремятся устранить клапанные газораспределительные механизмы и так модифицировать силовые механизмы, чтобы не возникало значительных сил инерции;

в) упрощение конструкции по сравнению с ПД.

Решение этих задач должно достигаться без снижения надежности, срока службы и топливной экономичности роторно-поршневых двигателей по сравнению с ПД.

ОСНОВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Одной из основных идей, осуществляемых в роторных двигателях, является замена поступательно-возвратного движения органов, формирующих рабочие полости на вращательное движение. В этом отношении роторно-поршневые двигатели напоминают ГТД. Однако в отличие от последних рабочие полости роторно-поршневых двигателей разделены на несколько отсеков, объем которых циклически изменяется. В течение цикла изменения состояния рабочего тела скорость его движения относительно мала (по сравнению со скоростями газовых потоков в ПД и ГТД).

В роторно-поршневых двигателях вследствие последовательного изменения объемов рабочих отсеков осуществляются те же такты рабочего процесса, которые характерны для обычных поршневых двигателей. Именно поэтому ряд авторов предложил название — роторно-поршневые двигатели или двигатели с вращающимися поршнями, что принято в отечественных и немецких патентных публикациях. Это дает основание для сокращенного наименования роторных двигателей — РПД.

У РПД обычный кривошипно-шатунный механизм заменен механизмами, позволяющими получать необходимый закон изменения объема рабочих отсеков при отсутствии поступательно-возвратного движения основных звеньев, формирующих эти отсеки. В РПД эти звенья совершают вращательное или вращательно-возвратное движение.

Закон изменения объемов рабочих отсеков и ряд требований, предъявляемых к сопряжению звеньев, формирующих рабочие отсеки РПД, аналогичны соответствующим законам и требованиям, характерным для объемных насосов или воздуходувок. Вследствие этого ряд схем РПД аналогичен однотипным схемам объемных насосов и, в свою очередь, ряд схем объемных воздуходувок представляет логическое развитие схем РПД. Это дало основание некоторым авторам распространять на РПД термин «коловратные двигатели» (по аналогии с коловратными насосами), применявшийся и в отечественной патентной литературе, выпущенной до второй половины XX в.

Показатели совершенства роторно-поршневых двигателей

Основной целью, к которой обычно стремятся изобретатели РПД, является улучшение удельных габаритных и весовых параметров, наиболее полно характеризующих удельными мощностями N_e и N_L и удельным весом G_y .

Мощность, приходящаяся на единицу габаритного объема двигателя V_a ,

$$N_e = \frac{N_e}{V_a},$$

где N_e — эффективная мощность двигателя в кВт (л. с.).

Мощность, приходящаяся на единицу габаритной длины L двигателя,

$$N_L = \frac{N_e}{L}.$$

Вес двигателя G , приходящийся на 1 кВт (л. с.) мощности двигателя,

$$G_y = \frac{G}{N_e}.$$

Роторно-поршневые двигатели, так же как и поршневые, относятся к общей категории объемных двигателей; поэтому компактность РПД находится в прямой зависимости от литровой мощности:

$$N_a = \frac{N_e}{V_a} \text{ кВт/л (л. с./л)},$$

где V_a — рабочий объем двигателя в л.

Удельный вес РПД тем ниже, чем выше литровая мощность и чем меньше вес двигателя, отнесенный к 1 л его рабочего объема.

Одним из наиболее важных параметров, характеризующих совершенство конструкции РПД, так же как и других объемных двигателей, является отношение рабочего объема двигателя V_a к габаритному объему V_a двигателя:

$$\bar{V}_a = \frac{V_a}{V_a}.$$

Очевидно, что чем больше величина \bar{V}_a , тем выше компактность и тем меньше металлоемкость двигателя.

