

НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

6/1976

СЕРИЯ
ТРАНСПОРТ

К.Ю. Чириков
НЕОБЫЧНЫЕ
ДВИГАТЕЛИ



НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

Серия «Транспорт»
№ 6, 1976 г.
Издается ежемесячно с 1967 г.

К. Ю. Чириков

НЕОБЫЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1976

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
НЕМНОГО ИСТОРИИ	12
ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ	21
ДВИГАТЕЛИ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ	39
РОТОРНО-ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	51

Чириков К. Ю.

Ч-64 Необычные двигатели. М., «Знание», 1976.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Транспорт», 6. Издается ежемесячно с 1967 г.)

Брошюра знакомит с работами изобретателей по усовершенствованию двигателей внутреннего сгорания обычных типов и созданию двигателей с принципиально новыми конструктивными схемами. Рассказано о перспективности двигателей различных типов, их истории, необычных поршневых двигателях внутреннего сгорания, двигателях внешнего сгорания и роторно-поршневых двигателях.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.

31801

6 Т 2

Введение

«Главной, пожалуй, или одной из главнейших баз всей нашей экономики»¹ называл транспорт В. И. Ленин. Развитию транспорта и вопросам улучшения работы автомобильного транспорта в частности уделяется огромное внимание во всех решениях партии и правительства нашей страны. В десятой пятилетке автомобильный парк пополнится новыми машинами большой грузоподъемности. В 1980 г. будет выпущено 2,1—2,2 млн. автомобилей, в том числе 800—825 тыс. грузовых. Увеличится производство автобусов, автомобилей большой грузоподъемности, прицепов и полуприцепов к ним. Причем особое внимание обращено на улучшение технико-экономических характеристик транспортных средств — на их производительность, экономичность в эксплуатации, снижение материалоемкости, надежность.

Сердце каждой транспортной единицы — двигатель, и все эти требования относятся и к нему. Улучшение топливной экономичности и надежности двигателей, снижение их веса, создание простых и технологичных конструкций, уменьшение токсичности выхлопа и производимого двигателем шума — главные задачи, стоящие перед современным двигателестроением.

В выполнение задач, стоящих перед народным хозяйством, в разработку новых эффективных решений большой вклад вносят советские изобретатели, рационализаторы, новаторы производства. Их работа была высоко оценена на XXV съезде КПСС.

Генеральный секретарь ЦК КПСС товарищ Л. И. Брежнев в докладе на XXV съезде партии «От-

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 44, с. 302.

чет Центрального Комитета КПСС и очередные задачи партии в области внутренней и внешней политики» подчеркнул:

«...Мы добились заметного роста научно-технического потенциала. Еще шире стал фронт научных исследований. Все больший размах приобретает творчество сотен тысяч изобретателей и рационализаторов».

Возможным типам необычных двигателей ближайшего будущего и главным образом работам наших отечественных изобретателей посвящена эта брошюра.

* * *

Если полистать популярные журналы и отыскать там статьи о двигателях, то у неискушенного читателя наверняка создается впечатление, что дни обычных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) сочтены — столь много в последнее время пишут и говорят о электромобилях, турбовозах и даже паровых двигателях. Впечатление это ошибочно. Многочисленные прогнозы предсказывают, что в 2000 г. будет выпущено 60—75 млн. автомобилей (рис. 1, кривая 5), а численность парка автомобилей достигнет 500—750 млн. единиц. Почти 95% пассажирских перевозок и почти 90% грузовых будет осуществляться автомобильным транспортом. И львиная доля их ляжет на плечи нестареющего поршневого двигателя.

Несомненно, что ДВС претерпит существенные изменения. Громадные коллективы ученых и инженеров ведут поиск наиболее эффективных решений как по двигателям обычным, так и по двигателям новых, еще не получивших распространения типов.

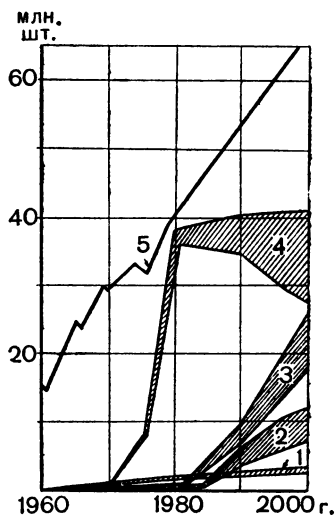
Возможные количественные контуры сфер влияния различных типов двигателей в мировом выпуске до 2000 г. приведены на рис. 1. Автор считает, что скромный удел знаменитых «ванкелей» (кривая 1) окажется для многих неожиданным. В обозримом будущем они вытеснят не более 5% обычных ДВС, а их выпуск вплоть до 1985 г. не превысит 2 млн. шт. в год. Уже сейчас можно смело утверждать, что основной областью применения этих двигателей станут мотоциклы, катера, мотонарты и снегоходы. К 1985 г. 50% парка подобных машин будет оснащено двигателями Ванкеля. Вместе с тем гораздо менее разрекламированный

«стирлинг» вкупе с газовой турбиной демонстрируют невиданные темпы роста (кривая 3). Их массовое производство начнется уже в 1981 г. и к 1985 г. составит до 10% от общего выпуска автомобильных двигателей. Основной областью их применения в первое время будут тяжелые грузовые автомобили. По мере разработки компактных образцов двигателей Стирлинга и газотурбинного двигателя (ГТД) их доля в общем балансе будет неуклонно повышаться.

Наиболее интенсивный взлет имеет кривая 4, характеризующая выпуск усовершенствованных обычных ДВС. Уже к 1980 г. подавляющее большинство ДВС будет иметь форкамерное зажигание с послойным распределением заряда смеси, непосредственный впрыск топлива или другие усовершенствования рабочего процесса, направленные в первую очередь на снижение токсичности выхлопа. Что касается кривой 2, то она иллюстрирует возможную динамику производства электромобилей. Уже сейчас парк электромобилей насчитывает десятки тысяч штук. В ряде стран программы разработки электромобилей субсидируются правительствами. Созданы аккумуляторы и топливные элементы с повышенной энергоемкостью (свыше 200 Вт·ч на 1 кг веса). И вместе с тем высокая стоимость, а главное

Рис. 1. Прогноз производства автомобильных двигателей:

1 — двигатели Ванкеля; 2 — двигатели для электромобилей; 3 — двигатели Стирлинга и газовые турбины; 4 — усовершенствованные ДВС обычной схемы; 5 — динамика производства автомобилей



существенно меньший пробег электротранспорта от единой зарядки (заправки) еще долго будут сдерживать его повсеместное распространение. В 1990 г. доля электромобилей будет близка к 10%, а в 2000 г. составит 20—35%.

Закат эры поршневого двигателя отнюдь не подтверждается прогнозными данными. Это скорее своеобразный вид рекламы электромобилей, «ванкелей», газотурбинных двигателей.

Все нападки на существующий автомобиль в первую очередь вызваны токсичностью выхлопа. На долю автомобильного транспорта приходится 35% загрязнения атмосферы. Цифра впечатляющая. Поэтому все высокоразвитые страны выпустили и утвердили в последние годы стандарты на токсичность выхлопных газов автомобилей. Автомобильные компании подняли шумиху, называя требования стандартов «невыполнимыми», «необоснованными», «сверхжесткими». Однако все автомобили 1975 г. соответствуют этим требованиям. Даже мизерное снижение токсичности по сравнению с требованиями стандартов используется в качестве яркой рекламной приманки.

Газетная шумиха и жалобы на жесткость стандартов использованы компаниями для повышения цен на автомобили в среднем на 20—25%, хотя все изменения в основном сводятся к разработке усовершенствованных карбюраторов, применению систем непосредственного впрыска топлива и дожигателей или катализаторов, установленных в глушителях.

Принципиально новые системы, суть которых заключается, например, в переводе бензина в парообразное состояние с помощью теплообменника или предварительном расщеплении бензина и превращении его в горючий газ, еще только разрабатываются. Но и эти системы не в силах кардинально разрешить проблему перспективного автомобиля, которая неразрывно связана с выбором вида топлива для двигателя.

В последние годы существенно интенсифицированы работы по газобаллонным автомобилям, использующим в качестве топлива смеси сжиженных углеводородных газов, как правило, жидких пропана и бутана, что позволяет снизить токсичность. Широкому распространению газобаллонных автомобилей препятствуют пока еще ограниченное количество газонаполнительных стан-

ций, а также снижение мощности двигателей на 10—20%.

Более перспективен сжиженный природный газ — метан. Применение сжиженного природного газа позволяет не только резко снизить токсичность выхлопных газов (в силу однородного состава топлива и простоты химического строения), но и значительно повысить моторесурс, или мощность двигателя. Однако низкая температура сжиженного природного газа (-160°C) требует изготовления топливного бака по принципу термоса, что при современном состоянии криогенной техники не представляет сложности.

Широкие работы по переводу автопарка на сжиженный природный газ проведены в США. Экспериментальные автомобили выпущены и европейскими фирмами, такими, как «Штейер-Пух» (Австрия), «Мерседес-Бенц» (ФРГ), «Савьем» (Франция). Парк этих автомобилей уже насчитывает десятки тысяч.

В нашей стране с целью оздоровления атмосферы больших городов принято постановление о переводе значительного количества грузовых автомобилей на сжиженный углеводородный газ и ведутся работы по использованию в качестве топлива сжиженного природного газа. В 1975 г. на улицах Москвы уже появились первые автомобили, работающие на сжиженном газе. Заполняются они на специальных газонаполнительных станциях.

Рассматривая вопросы перспективности автомобилей на сжиженных газах, нельзя не упомянуть о жидком водороде. Пока он успешно использован лишь в ракетах. Однако это, несомненно, топливо будущего и для автомобилей как в силу неограниченных запасов водорода, так и из-за наибольшей чистоты продуктов сгорания (теоретически продукты сгорания водорода состоят из водяного пара).

Первый успешный опыт применения водорода в качестве топлива для дизелей с непосредственным впрыском осуществлен в университете штата Оклахома (США) в 1968—1970 гг., где три опытных двигателя проработали на стенде в течение двух лет, причем их мощностные характеристики практически не изменились. Единственный недостаток водорода — необходимость его хранения в жидком состоянии при крайне низкой температуре -250°C . Поэтому, а также из-за

того, что водород считается взрывоопасным (кстати, необоснованно), внедрения этого вида топлива можно ожидать не ранее широкого распространения автомобилей на сжиженном метане, т. е. где-то за пределами 1990 г.

Правда, не исключено, что недавно найденный способ хранения водорода в порошковых композициях некоторых металлов (например, в лантано-никелевых гидридах) несколько приблизит этот срок. Суть способа в громадной поглотительной способности гидридов по отношению к водороду. В единице объема порошка при практически атмосферном давлении водорода запасается почти столько же, сколько в баллоне с давлением 1000 кг/см^2 !

Интересный принцип использован специалистами Института проблем машиностроения АН УССР в сотрудничестве с коллегами из Москвы, Ленинграда и ряда союзных республик. На базе «Москвича» они создали экспериментальный образец автомобиля, в двигателе которого бензин заменен водородом. На машине вместо бака с бензином — миниатюрный реактор. Находящийся в нем металлический порошок соединяется с водой. Происходит химическая реакция, в результате выделяется водород. В смеси с воздухом он подается в цилиндр мотора. Топливная система взрывобезопасна.

О перспективности сжиженных газов и водорода говорит тот факт, что уже в настоящее время стоимость сжиженного природного газа не превышает стоимости бензина, а стоимость жидкого водорода близка к ней. Сжиженный газ и жидкий водород могут быть использованы как топливо для любых видов двигателей. Можно предположить, что положительные качества этих видов топлива обеспечат их поэтапное применение на всех новых и усовершенствованных образцах двигателей.

Но самое «чистое» топливо — это, конечно, электричество. Поэтому практически все без исключения статьи о электромобилях начинаются с тезиса о том, что проблему загрязнения окружающей среды можно решить путем их развития. Однако с 1900 г. удельную энергоемкость аккумуляторов удалось повысить лишь с 15 до 40—50 Вт·ч/кг, а для обеспечения конкурентоспособности электромобиля, по мнению экспертов, требуется энергоемкость не менее 220 Вт·ч/кг, т. е. в 4—5 раз выше, чем у существующих типов.

Ожидается, что только в течение ближайших 10 лет получат распространение литиевые, цинково-воздушные и натрий-серные батареи и топливные элементы с удельной энергоемкостью до 200 Вт·ч/кг, т. е. все еще меньше, чем требуется. Поэтому начала широкого выпуска электромобилей можно ожидать не ранее 1985 г. и то только в предположении ускоренного прогресса аккумуляторной техники. В ближайшем будущем развитие этого вида транспорта будет сдерживаться низкой энергоемкостью, значительным весом, ограниченным сроком службы аккумуляторных батарей и рядом других причин.

Работы по увеличению срока службы батарей до 400—500 циклов перезарядки, что равноценно всего 2—3 годам эксплуатации, еще только ведутся и в этом плане перспективы гораздо менее радужны, чем в направлении увеличения энергоемкости. Немаловажна повышенная стоимость электромобилей, которая определяется не только высокой ценой источников питания¹, но и широким применением в конструкции относительно дорогостоящих легких металлов и пластмасс. Последнее необходимо хотя бы для приближения общего веса электромобиля к весу автомобиля с ДВС такого же класса.

Не изменяют положения и уже опробованные схемы комбинированных энергетических установок, в которых наряду с электродвигателями используются ДВС. Обычно в таких схемах ДВС работает в одном режиме (с целью снижения токсичности выхлопа) только на подзарядку аккумуляторов. Но при этом потери энергии достигают 40%. Таким образом, особых перспектив схема не имеет.

Реализованная фирмой «Бош» (ФРГ) схема комбинированной энергетической установки, где ДВС с помощью специальной муфты в нужный момент может подключаться к электроприводу колес, снизила величину потерь энергии до 10%. Однако вес такой установки, предназначенной для легкового автомобиля, возрос на 400 кг, а стоимость — на 30% по сравнению с приводом от обычного ДВС. «Этюд фирмы «Бош» в области охраны окружающей среды», — нарекли эту конструкцию конкуренты фирмы.

¹ В СССР стоимость одной аккумуляторной батареи для легкового автомобиля составляет около 10% стоимости двигателя.

Так что, несмотря на обилие экспериментальных и даже серийных электромобилей, они не могут рассматриваться как серьезный конкурент автомобилей с поршневым двигателем.

То же самое можно сказать и пока об экзотических гироскопиях, в которых аккумулятор энергии — гироскоп (маховик). Исследовательские и опытно-конструкторские работы, проводимые в том числе и в нашей стране, позволяют считать этот вид транспорта конкурентом в первую очередь электромобилей. Действительно, будучи соизмеримыми с последними по весу и величине пробега, гироскопии могут восполнять недостаток энергии практически от любой электрической розетки, что служит их несомненным преимуществом.

Необходимо заметить, что все работы по электро- и гироскопиям страдают своего рода односторонностью. Рекламируя «стерильность» этого вида транспорта, авторы не учитывают необходимости комплексного научного исследования проблемы их использования. Ведь, по существу, электромобили выносят источник загрязнения лишь за пределы городов, перекладывая его на плечи электроэнергетики. Подсчитано, что если заменить 14 млн. автомобильных ДВС (уровень 1974 г. в ФРГ) на электродвигатели, батареи которых ежедневно с 22 до 6 часов утра будут заряжаться, то потребление электроэнергии составит около 100 000 МВт. Обеспечить такое энергопотребление смогут, например, 500 (!) атомных ТЭЦ мощностью по 200 МВт (!) каждая. Одно тепловыделение подобной энергосистемы колоссально. Учет этого аспекта, а также перспективного баланса электроэнергии для каждой отдельной страны (в США уже сейчас отмечается дефицит электроэнергии) скорее всего приведет к тому, что и за пределами 2000 г. электро- и гироскопии будут отнюдь не преобладающим видом транспорта.

Немаловажным фактором, который выглядит парадоксально, является и низкая эффективность использования энергии в системе «электростанция—электромобиль». Ее КПД не превышает 15%. Эксплуатация системы в масштабах планеты равносильна разбазариванию энергии. Такую роскошь человечество может себе позволить лишь ввиду крайних обстоятельств, с целью сохранения жизнеспособности больших городов, атмосфера которых все больше отравляется выхлопными га-

зами ДВС. И лишь по мере расходования минеральных ресурсов планеты, совершенствования методов получения электроэнергии и самих электромобилей их число, возможно, резко возрастет. Возможно, так как немногие отваживаются пока заглядывать за рубеж второго тысячелетия. И не исключено, что к тому времени родится какой-то невиданный вид индивидуально-го транспорта.

В нашей стране наиболее крупным потребителем электромобилей в обозримом будущем станет сфера обслуживания. Работы в этом направлении ведут ученые и инженеры Москвы, Харькова, Калининграда, Еревана, Запорожья. А легковой электромобиль индивидуального пользования помчится по дорогам не ранее 1990 г.

В последние годы можно было услышать мнение, что сейчас заниматься разработкой новых типов двигателей бессмысленно: грядет-де век турбин и электродвигателей. Этот тезис полностью опровергается данными рис. 1 даже с учетом несовершенства прогнозов: вплоть до 2000 г. не менее половины вновь выпускаемых (!) двигателей сохранит верность схемам, изобретенным в прошлом столетии: Отто, Дизель, Стирлинг. Однако современный уровень развития общества требует внесения существенных усовершенствований как в конструкцию этих двигателей, так и в реализуемые ими рабочие процессы с целью повышения КПД и экономичности, снижения веса, уменьшения вредного влияния на окружающую среду. Перспективность тех или иных поисковых и опытно-конструкторских работ, осуществляемых как в государственном масштабе, так и отдельными энтузиастами, можно представить в такой последовательности:

1. Усовершенствования ДВС обычного типа.
2. Разработка двигателей внешнего сгорания и газовых турбин.
3. Усовершенствование электропривода для автотранспорта.
4. Создание роторно-поршневых двигателей.

Конечно, такое распределение весьма условно. Однако в настоящей брошюре, посвященной главным образом поршневым и роторно-поршневым двигателям, автор предпочитает придерживаться именно такой последовательности. А чтобы показать как историческую не-

обходимость внесения изменений в их конструкцию, так и преемственность многих решений, предлагает читателю сначала бегло ознакомиться с историей двигателя.

Немного истории

Три века назад, в 1680 г. голландский ученый-механик Христиан Гюйгенс придумал «пороховой двигатель». Согласно его идее под поршень, размещенный в вертикальном цилиндре, нужно было заложить заряд пороха и поджечь его через маленькое отверстие в стенке цилиндра. Продукты горения подбрасывали бы поршень до большого отверстия, сообщающего камеру сгорания с атмосферой. Опускаясь, поршень должен был тянуть груз, подвешенный на блоках. Для эпохи Гюйгенса это была сверхнеобычная «машина» (термины «двигатель» или «машина» еще не появились), ибо тогда единственным мощным двигателем было водяное колесо.

Сам Х. Гюйгенс в то время увлекся шлифовкой линз для гигантских и по нынешним понятиям телескопов с фокусным расстоянием до 60 м. Поэтому постройку небезопасной «машины» поручил ученику — французскому физiku Дени Папену, воплотившему идею в металл. Его именем и открывается история тепловых двигателей. Распространенное утверждение, что первой появилась паровая машина, неверно. «Пороховая машина» Д. Папена — прообраз современного двигателя внутреннего сгорания, поскольку горение внутри цилиндра — его неотъемлемый признак.

Провозившись с «машиной» несколько лет, Папен понял, что порох — горючее не из лучших. Судьба послала ему в ту пору новых выдающихся учителей. В Англии он знакомится с Робертом Бойлем, изучавшим состояние газов, а позже, в Германии, с математиком Готфридом Лейбницем. Возможно, что их работы и помогли Д. Папену создать «пароатмосферный двигатель», в котором поршень поднимал «получаемый при посредстве огня водяной пар». Когда источник тепла (огонь) убирали, пар «опять сгущался в воду», и поршень под действием веса и атмосферного давления¹ (!) опускался вниз.

¹ При конденсации пара под поршнем образуется разрежение.

И хотя здесь уже используется пар, новую машину Папена нельзя назвать паровой: рабочее тело в ней не покидает пределов цилиндра и только источник тепла расположен снаружи. Поэтому можно сказать, что вслед за ДВС Папен изобрел двигатель внешнего сгорания. Первый в мире двигатель внешнего сгорания делал всего один ход в минуту, что не отвечало даже неприхотливым требованиям тех времен. И Папен, отделив котел от цилиндра, изобрел паровую машину!

Первая в мире пароатмосферная машина попала в «подмастерья» к водяному колесу. В книге Д. Папена «Новое искусство эффективно поднимать воду на высоту при помощи огня» сказано, что она качала воду, чтобы та... вращала водяное колесо.

Восемнадцатый век. Он не принес нового истории ДВС. Но зато Томас Ньюкомен в Англии (в 1711 г.), Иван Ползунов (в 1763 г.) и англичанин Джеймс Уатт (в 1784 г.) развили идеи Д. Папена. Началась самостоятельная жизнь паровой машины, ее победное шествие. Ожились и сторонники внутреннего сгорания. Да разве не заманчиво объединить и топку и котел паровой машины с ее цилиндром? Когда-то Папен поступил наоборот, а теперь...

В 1801 г. француз Ф. Лебон предположил, что светильный газ — неплохое топливо для ДВС. На претворение идеи в жизнь ушло 60 лет. Его земляк, Жак Этьен Ленуар, бельгиец по национальности, запустил в 1861 г. первый в мире ДВС. По устройству это была паровая машина двойного действия без котла, приспособленная для сжигания в ней смеси воздуха и светильного газа, подаваемой при атмосферном давлении.

Нельзя сказать, что Ленуар был первым. За 60 лет патентные ведомства получили множество заявок на «привилегии» по постройке необычных тепловых двигателей. Например, в 1815 г. заработал «воздушный тепловой двигатель» Роберта Стирлинга, который в 1862 г. удалось превратить в холодильную машину. Были и другие попытки постройки ДВС.

Но распространение получил лишь двигатель Ленуара, несмотря на то, что он был громоздок, капризен, поглощал массу смазки и воды, за что даже получил нелестное прозвище «вращающийся кусок сала». Но Жак Ленуар потирал руки — спрос на «куски сала» рос. Однако торжествовал он недолго. На Всемирной вы-

ставке 1867 г. в Париже вопреки ожиданиям первый приз получил «газовый атмосферный двигатель», привезенный из Германии Николаусом Отто и Эйгеном Лангеном. Он оглушал посетителей неимоверным треском, но зато потреблял гораздо меньше топлива, чем двигатель Лемуара, и имел на 10% больший КПД. Секрет его успеха — предварительное сжатие рабочей смеси, чего в двигателях Лемуара не было.

Еще в 1824 г. французский инженер Никола Леонар Сади Карно издал книжку «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». Фейерверк идей: принципы теплопередачи, критерии для сравнения всех тепловых циклов, основы термодинамики двигателей и среди них предварительное сжатие — был рассыпан на страницах этой маленькой книжки. Через десять лет эти идеи развил Б. Клапейрон, а чуть позднее — У. Томсон. Теперь эти имена всем знакомы. Но ни Лемуар, ни Отто, ни Ланген об их трудах ничего не знали. Они предпочитали теории эксперимент. Не знали они и того, что в 1862 г. француз А. Бо де Роша уже запатентовал четырехтактный цикл. А второй по счету такт — как раз и есть предварительное сжатие рабочей смеси.

Четырехтактный двигатель, практически не отличающийся от современных ДВС, Отто и Ланге привезли лишь на Всемирную выставку 1873 г. До этого изобретатели не только использовали опыт производства паровых машин, но применяли такой же, как у них, механизм газораспределения — золотник. В новом двигателе вместо золотника стояли клапаны.

Неприступные позиции паровой машины пошатнулись. ДВС перешел в наступление. Недолго поработав на светильном газе, он принялся за более калорийный — генераторный. А потом, и поначалу это казалось невероятным, добрался до «необычного» жидкого топлива.

Паровая машина сдалась не сразу. В 1880 г. М. А. Можайский заказал для своего самолета две паровые машины. Об «удельном» весе, равном 5 кг/л. с., конструкторы ДВС в то время только мечтали, а М. Можайский достиг этого без особого труда. Но уже через восемь лет «Товарищество по постройке воздушного корабля «Россия» собралось установить на свой дирижабль один из первых в мире бензиновых двигателей, построенный Огнеславом Костовичем. Он добился не-

обычайной легкости конструкции: на 1 л. с. мощности в его двигателе приходилось всего по 3 кг веса. Оригинальной была и компоновка двигателя. Пары противолежащих поршней через расположенные с боков коленвала вращали коленчатый вал, размещенный над цилиндрами (рис. 2). Двигатель сохранился, и с ним можно ознакомиться в Московском Доме авиации им. М. В. Фрунзе.

На рубеже XX в. в постройку здания ДВС был заложен последний камень. В 1893 г. с претенциозной идеей «рационального теплового двигателя, призванного заменить паровую машину и другие существующие в настоящее время двигатели» выступил немецкий инженер Рудольф Дизель. Первый образец его двигателя заработал в 1897 г. Масса недостатков сполна компенсировалась небывало высоким КПД, равным 26%. Для первого образца этого более чем достаточно. Интересно, что усовершенствование двигателей Дизеля, их доводку осуществили русские инженеры на Петербургском заводе Нобеля в 1899—1902 гг. Только после этого дизель стал достойным конкурентом карбюраторного ДВС.

Массовое распространение ДВС резко изменило жизнь человека. Грохот моторов стал слышаться со всех сторон. Он заставил пешеходов испуганно жаться к стенам домов, с любопытством задирать голову вверх, часами глазеть на манипуляции различных машин.

Экскурс в историю мотора на этом можно было и закончить. Дальше идет развитие. В автомобилестроении с тех пор по сей день в основном используются двигатели с цилиндрами, расположенными в один или два ряда, в свою очередь, размещенных под углом (V-образная схема) или напротив друг друга (оппозитная схема). Двигатели, построенные по необычным схемам, чаще всего обязаны своим рождением авиации. Начав с одноцилиндрового двигателя воздушного охлаждения

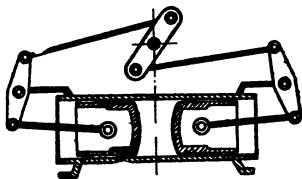


Рис. 2. Схема двигателя О. С. Костовича. Мощность 80 л. с. Восемь горизонтальных цилиндров с водяным охлаждением

на самолете братьев Райт, авиастроители быстро переключились на многоцилиндровые звездообразные и рядные.

Звездообразные были всем хороши, но при скорости первых самолетов в 40—60 км/ч нужного охлаждения цилиндров все же не обеспечивали. Изобретатели обошли это препятствие, выполнив блок цилиндров вращающимся вокруг неподвижного вала, заодно подарив миру термин «ротативный двигатель» (рис. 3).

Препятствием для широкого распространения двигателей этого типа было резкое увеличение нагрузок на основные двигатели, вызванное центробежными силами.

Наш соотечественник А. Г. Уфимцев попытался снизить влияние центробежных сил, построив биротативный двигатель. Вал и блок цилиндров стали вращаться в разные стороны с вдвое меньшей скоростью. Но вскоре такое решение стало ненужным — скорость самолетов перевалила за цифру 100. Торчащие в стороны цилиндры прекрасно обдувались потоком воздуха от винта, но... (это «но» вечно кочует от одной конструкции к другой и вряд ли когда-либо успокоится) создавали значительное аэродинамическое сопротивление.

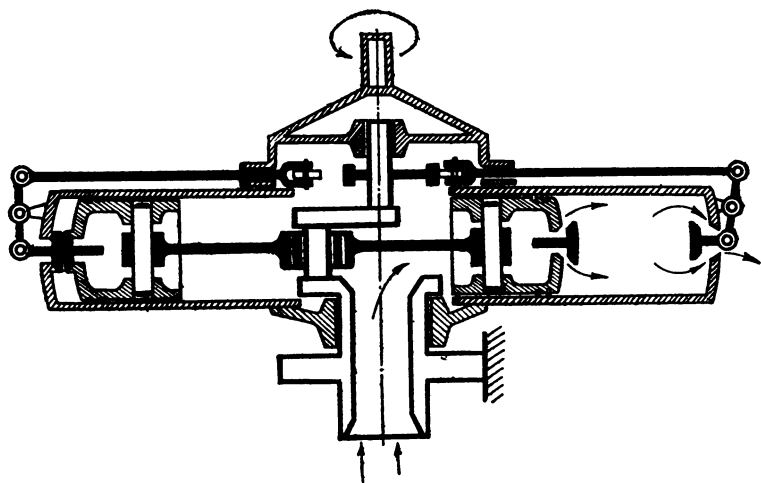


Рис. 3. Ротативный двигатель Ф. Г. Калепа, выпускавшийся на заводе «Мотор» в Риге в 1913 г. Мощность 80 л. с. Семь цилиндров. Вес 80 кг. Стрелками показано направление потока горючей смеси

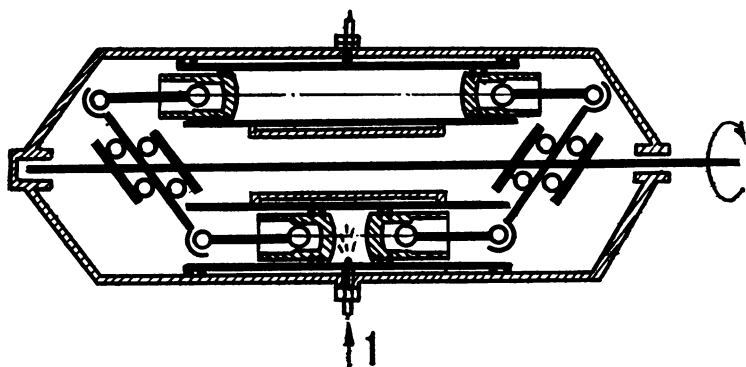


Рис. 4. Схема двухтактного авиадвигателя А. А. Микулина и Б. С. Стечкина (1916 г.). Мощность 300 л. с. 1 — непосредственный впрыск легкого топлива, предложенный впервые в мире!

Прижать бы цилиндры к валу! Сделать бы их компактнее! Этому мешал в первую очередь шатун. Его длина связана с ходом и диаметром поршня жестким соотношением. Выход вскоре был найден. Цилиндры расположили параллельно валу, а их штоки (не шатуны!) связали с шайбой, косо посаженной на валу. Получился компактный блок, названный двигателем с косою шайбой (рис. 4). В России он использовался с 1916 г. (конструкция А. А. Микулина и Б. С. Стечкина) по 1924 г. (двигатель Старостина). Детальные испытания, проведенные в 1924 г., выявили повышенные потери на трение и большие нагрузки на отдельные элементы, что обуславливает относительную ненадежность и неэффективность двигателей с косою шайбой.

Внимательный читатель, верно, подметил, что в тексте было выделено слово шатун. Он не сразу стал неременной деталью поршневых двигателей.

В паровой машине Ньюкомена шатуна еще не было, Ивану Ползунову он уже служил верой и правдой, а Уатт даже запатентовал несколько механизмов того же назначения, так как просто шатун к тому времени уже был запатентован.

Явившись прогрессивнейшим решением своего времени, исправно прослужив людям два столетия, шатун уже в 20-е годы нашего века стал вызывать нарекания моторостроителей. Дескать, и название-то какое: «шатун». Шатается, раскачивается, разбивает все. И габ-

рит не дает уменьшить. И поршни то к одной, то к другой стороне цилиндра прижимает, и инерционные нагрузки увеличивает. Словом, всем нехорош стал шатун. Да только сладить с ним оказалось непросто.

Авиамоторостроители неустанно доводили свои конструкции. К 1940 г. были учтены все мелочи, убран весь лишний вес, использованы тысячи ухищрений, применены самые экзотические материалы. И только основная схема — кривошипно-шатунный механизм не претерпела никаких изменений. В это время никто, пожалуй, не мог предсказать грядущего триумфа реактивных двигателей. Поэтому во всех странах велись крупные работы по созданию мощных малогабаритных поршневых авиадвигателей. Но несмотря на интенсивную работу, поршневой авиадвигатель мощностью более 4000 л. с. ни в одной зарубежной стране создан не был.

В Англии фирма «Хипл» создала двигатель с противоположащими поршнями и расположенным над ними коленчатым валом. С боков располагались коромысла. То есть англичане возродили схему Костовича. А если перевернуть еще несколько страниц истории, то окажется, что это же и схема Ньюкомена. Только у него вообще не было коленчатого вала. Привязанная к коромыслу веревка таскала вверх-вниз поршень насоса. Недалеко ушла и швейцарская фирма «Зульцер». Ее двигатель отличался от «Хипл» лишь формой коромысла. Свою лепту внесли даже новозеландцы: в их двигателе коромысла размещены внутри поршней. Но с коромыслами связан все тот же шатун.

Достойный преемник кривошипно-шатунного механизма был нужен всем, нужен он и по сей день. Поэтому его поиски не прекращались. Не в силах избавиться от шатуна совсем изобретатели-одиночки и целые коллективы принялись варьировать его расположением (рис. 5). Подобные двигатели выпускаются малыми сериями целым рядом фирм и величаются «двигателями со сложными кинематическими схемами». Существовали и более экзотические конструкции. Так, австрийцы расположили шесть поршней по сторонам треугольника, поместив коленчатый вал в центре. Их двигатель «Фиала-Фернбраг» выделялся среди других лишь звучным именем. Его характеристики оставляли желать лучшего.

В похожей схеме, использованной американцами, в углах квадрата помещены вдвоенные цилиндры, а в

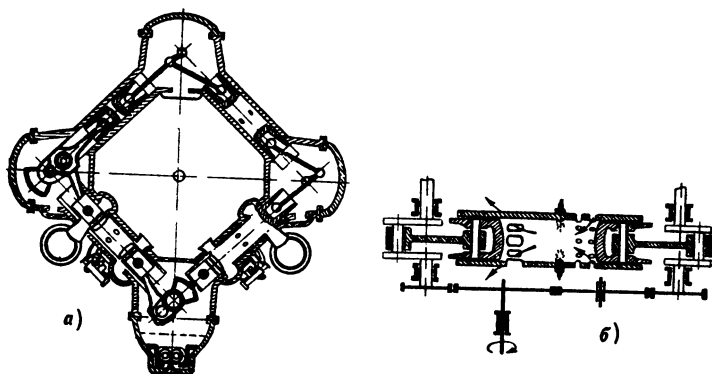


Рис. 5. Двигатели со сложной кинематической схемой:

а — схема А. А. Агатова; *б* — схема, распространенная в авиации в 30-х годах, представляющая собой модификацию схемы О. С. Костовича, разработанной в 1878—1881 гг.

центре — множество шатунов и два коленчатых вала. «Дина-Стар» нарекли конструкторы свое детище. Но и в нем совершенно оригинально только название.

Не обойдена вниманием и косая шайба. Сейчас она широко применяется в различных гидромоторах. А в конце 50-х годов английский изобретатель Хюгенс продемонстрировал коллегии экспертов ведущих моторостроительных фирм «новейший» ротативный двигатель с двенадцатью цилиндрами. Он был похож на бочонок. А внутри пряталась все та же косая шайба. И хотя Хюгенс утверждал, что «двигатель объединяет термодинамическую мощность ДВС с преимуществами турбины» и что «потери на трение, благодаря отсутствию шатунов, на 60% меньше», чем в ДВС, эксперты подивились, тщательно осмотрели двигатель, и... больше о нём не слышно. Впрочем, и изобретатели-одиночки, и даже фирмы до сих пор пытаются создать работоспособный двигатель с косой шайбой. Есть сообщения о паровых машинах, «стирлингах» и обычных ДВС, использующих эту схему. Ведутся такие работы и в нашей стране, однако особых перспектив они, по-видимому, не имеют. Виной всему — потери на трение, с которыми так упорно боролся Хюгенс. В быстроходных шатунных ДВС и двигателях с косой шайбой на них тратится 15—25% полезной мощности. А у необычных «Хипла», «Финалы», «Дины» и того больше.

Другой «враг» двигателей, коварно появляющийся при повышении оборотов, — инерционные силы. Они не только помогают силам трения, но и просто-напросто недопустимо перегружают многие детали.

Есть и третий — тепловая напряженность цилиндра. С ростом оборотов, а следовательно, и количества вспышек стенки цилиндра не успевают отводить тепло. А тут еще повышенное трение «подливает масла» и в без того накаленный цилиндр.

Вот этих-то «врагов», ближайших родственников шатуна, и не смогли по сей день одолеть изобретатели всего мира. Конечно, не следует думать, что разработка двигателей со сниженными потерями на трение и уменьшенным числом оборотов решит все проблемы, стоящие перед двигателестроением. Одна из главных задач — уменьшение токсичности выхлопных газов решается сейчас как в результате улучшения рабочего процесса и применения иных видов топлива, так и в результате дефорсировки двигателя.

Зарубежные конструкторы ввиду появления жестких требований по охране окружающей среды вынуждены были пойти в последние годы на снижение оборотов и степени сжатия карбюраторных двигателей. А это неизбежно сказалось на их технико-экономических показателях. Так, средняя литровая мощность американских автодвигателей сейчас находится на уровне 30—40 л. с./л. Возрос и удельный расход топлива. И стало быть, автомобили оснащаются более громоздкими и менее эффективными двигателями. Поэтому разработку конструкций, позволяющих сохранить эффективность и весовые показатели двигателей по крайней мере на существующем уровне, можно считать одной из главных задач. Как будет показано ниже, эта задача может быть успешно решена путем создания бесшатунных двигателей, в которых резко снижены потери на трение. Косвенно такое решение сказывается в лучшую сторону и на экономичности, надежности весовых показателей.

Другой путь — разработка двигателей принципиально иной конструкции — ротационных и двигателей, основанных на ином тепловом цикле. В двигателях этих типов могут быть эффективно использованы многие решения, касающиеся улучшения обычных ДВС.

Поршневые двигатели

Двигатели Баландина. Работа над этими двигателями началась после Великой Отечественной войны. В те годы Сергей Степанович Баландин вел работы по уникальным поршневым двигателям, превосходящим по своим показателям авиационные поршневые двигатели того времени. Эти двигатели были легче, мощнее, экономичнее, проще, надежнее и дешевле любого известного в то время. К 1948 г. было разработано и испытано семь типов двигателей мощностью от 100 до 3200 л. с., а в 1948—1951 гг. появился сверхмощный поршневой двигатель мощностью 10 000 л. с., удельные показатели которого практически равны аналогичным показателям турбореактивных двигателей.

Мощность отработанной базовой ступени, состоящей из четырех крестообразных цилиндров, была столь большой, что поднимался вопрос о ее снижении, так как самолетов, требующих таких мощных двигателей, не было.

Уже самый первый образец двигателя С. С. Баландина показал колоссальные преимущества. Он был в 1,5 раза мощнее и в 6(!) раз долговечнее звездообразного авиадвигателя М-11, взятого для сравнения. Кроме того, он превосходил его и по другим показателям. В книге «Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания» С. С. Баландина сконцентрировано все наиболее важное об этих необыкновенных моторах. Трудно

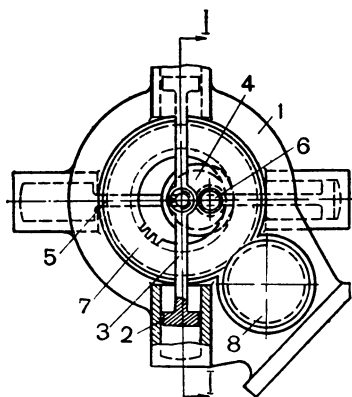
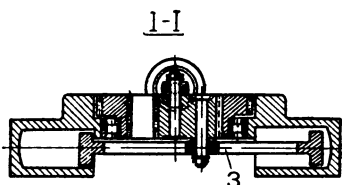


Рис. 6. Схема двигателя (конструктор Е. И. Лев):

1 — корпус; 2 — двойные поршни; 3 — шток; 4 — ведущая шестерня; 5 — вторая пара поршней; 6 — цапфы; 7 — солнечная шестерня; 8 — ведомая шестерня



вкратце пересказать содержание этой небольшой книжки. Каждая ее страница — открытие. Приводимые цифры кажутся невероятными. Но за ними стоят реальные, придирчиво испытанные образцы.

В 1968 г. журнал «Изобретатель и рационализатор» № 4 опубликовал статью под заголовком «Существенно новый двигатель», где речь шла о «бесшатунном механизме для преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное» (а. с. № 164756). Его автор — молодой севастопольский изобретатель Е. И. Лев. Статья заканчивалась словами: «...хочется, чтобы двигатель построили, опробовали в деле». А через полгода стало известно о существовании авторского свидетельства № 118471, выданного в 1957 г. С. Баландину на «двигатель внутреннего сгорания с бесшатунным механизмом».

В обеих формулировках присутствует слово «бесшатунный». Но что стоит за этим словом? Без тщательных экспериментов ответить трудно. Двигатель (рис. 6), который сконструировал Е. И. Лев, пока так и не построен — подвела технологическая база. Зато работы С. Баландина позволяют смело сказать: за ключевым в обоих авторских свидетельствах словом «бесшатунный» скрывались необычные двигатели ближайшего будущего. Пройдет несколько лет и только безнадёжные консерваторы будут проектировать двигатели с традиционным шатунно-кривошипным механизмом.

Как же устроен бесшатунный механизм С. Баландина? Его «изюминка» — коленчатый вал, как бы раз-

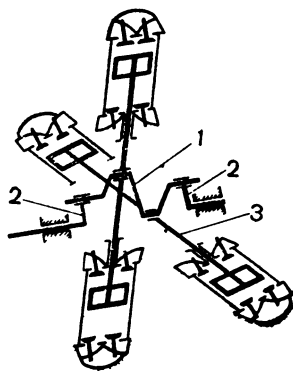


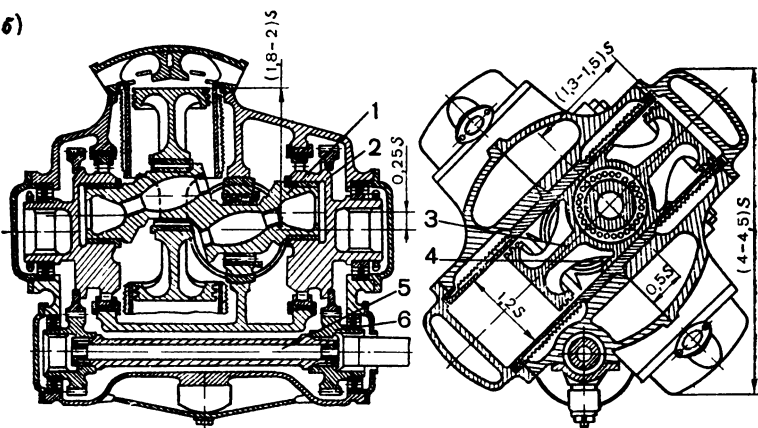
Рис. 7. Схема двигателя двойного действия С. С. Баландина (а), компоновка автомобильного варианта двигателя одинарного действия (б); S — ход поршня:

1 — коленчатый вал; 2 — кривошипы; 3 — шток; 4 — крейцкопф; 5 — синхронизирующий вал; 6 — шестерня зубчатой передачи

резанный на три части (рис. 7, а). Центральная коленчатая часть 1 с уменьшенным вдвое против обычного радиусом шеек свободно вращается в подшипниках скольжения двух кривошипов 2 с тем же радиусом. Центральную часть охватывает штоковый подшипник. На штоке 3 закреплены два поршня (наиболее полно преимущества схемы реализуются при противолежащих поршнях). Чтобы усилия от шеек центральной части вала не передавались поршням, шток в центре имеет специальную направляющую 4, подобную крейцкопфу компрессоров и паровых машин. Только крейцкопф этот разместился в самом центре двигателя. Синхронизацию вращения кривошипов обеспечивает вал 5, связанный с ними зубчатыми передачами 6. Он же представляет собой вал отбора мощности для привода клапанов и других агрегатов.

Штоковый подшипник перемещается по прямой. Вокруг его центра, двигающегося возвратно-поступательно, описывают свои траектории (окружности) шейки коленчатого вала. А раз у шеек траектория — окружность, то и кривошипы плавно следуют за шейками. Итак, шатуна в двигателе нет. Поэтому через широкие каналы в крейцкопфе по штоку к поршням можно подвести мощный поток масла, который обеспечит идеальное охлаждение поршней, что, в свою очередь, позволяет резко форсировать двигатель. Нагретое масло возвращается также через шток. Для этого он разделен

б)



трубкой на две части. Благодаря крейцкопфу, скользящему по масляной пленке, поршни двигателей С. Баландина практически не изнашиваются. Износ шеек коленчатого вала снижается в 3—4 раза. Объясняется это просто. В обычных ДВС на шейки передается вся сила давления газов на поршни, а у двигателей С. Баландина всего лишь полезная разность сил противолежащих цилиндров.

Пониженные нагрузки на вращающиеся детали приводят к трех- четырехкратному (!) снижению потерь на трение. Механический КПД двигателей С. Баландина равен 94%! Всего 6% вместо 15—25% тратится на преодоление трения! Габариты уже самых первых двигателей Баландина были меньшими, чем у двигателя М-11 по крайней мере на длину шатуна, а их литровая мощность (максимальная мощность, деленная на рабочий объем цилиндров в литрах) — самая главная характеристика двигателя в 1,5 раза превысила и сейчас заветный для всех двигателестроителей рубеж — 100 л. с./л. Для примера можно напомнить, что литровая мощность двигателя автомобиля «Жигули» ровно в половину меньше.

По словам С. С. Баландина, от бесшатунных двигателей взято пока «только с поверхности». Например, только эти двигатели дают возможность конструктивно просто реализовать двухсторонний рабочий процесс в цилиндрах, повысить мощность двигателей ровно в 2 раза.

Двойное действие — древний термин. От относился к самым первым ДВС Лемуара. А позже почти исчез из технической литературы. Не только потому, что на пути его реализации множество конструктивных трудностей. Немногие существующие двигатели двойного действия отнюдь не имеют удвоенной мощности, а по удельным характеристикам они значительно хуже обычных ДВС. Винават шатун. Он обязательно требует крейцкопфа, установленного следом за ним. А это приводит к росту габарита, увеличению веса и соответственно инерционных нагрузок. В итоге — громоздкая, тихоходная конструкция, почему эта схема и используется сейчас лишь в мощных судовых дизелях. Двигатель же Баландина совсем не требует увеличения массы движущихся частей. В нем, чтобы разместить вторые цилиндры, нужно лишь немного удлинить што-

ки. Опасность перегрева поршней устраняется блестяще решенной конструкцией охлаждения поршня мощным потоком масла.

Все сверхмощные двигатели С. Баландина, среди которых есть двигатель мощностью 14 тыс. л. с. при весе в 3,5 т (0,25 кг/л. с.), были двигателями двойного действия, в том числе с золотниковым газораспределением, позволяющим еще более уменьшить размеры. От золотника, позаимствованного у паровой машины, отказались уже в начале развития ДВС. Теперь золотники снова используются. Только вместо золотников, двигающихся возвратно-поступательно, применяют вращающиеся. Однако суть их прежняя.

Но почему золотник? С повышением оборотов, а чем они выше, тем меньше размеры двигателя при той же мощности, инерционные нагрузки на шатунно-поршневую группу и детали клапанного механизма резко возрастают. В последнем увеличенные нагрузки нарушают фазы газораспределения. Вращающемуся золотнику это не грозит. Недаром именно двигатели с золотниковым газораспределением не так давно поражали мир рекордами литровой мощности. С 200 л. с./л (ГДР, 1960) до 300 л. с./л (Япония, 1970) поднялась литровая мощность двигателей с золотниками для гоночных мотоциклов за десятилетие.

С. С. Баландин опередил «рекордсменов» минимум на 20 лет, создав крупные двигатели огромной мощности. Напомним, что никому в мире, хотя за дело брались специалисты известнейших фирм, не удалось создать поршневого авиационного двигателя мощностью более 4000 тыс. л. с. А тут сразу 10—14 тыс., а при желании и все 20 тыс. И всего 24 цилиндра. Средняя скорость поршня в двигателях Баландина достигала невиданной величины — 80 м/с! (в обычных двигателях эта скорость равна 10—15 м/с, в гоночных — до 30 м/с). А высокий механический КПД не мешает поднять ее еще выше.

Эффективная мощность лучших образцов шатунных двигателей уже при средней скорости поршня, превышающей 30 м/с, неудержимо стремится к нулю. Бесшатунный механизм практически не реагирует на рост средней скорости. Эффективная мощность двигателей С. Баландина в 5—6 раз, а при двойном действии и в 10 раз (!) выше аналогичной у шатунных. Небольшой

график, приведенный в книге С. Баландина, беспристрастно свидетельствует об этом. График ограничен диапазоном средних скоростей поршня до 100 м/с, но кривые как бы стремятся вырваться за его пределы, словно подчеркивая скрытые возможности этой необыкновенной схемы.

Средняя скорость—это обороты, мощность. Но ведь выше обороты, выше инерционные нагрузки, вибрация. И здесь двигатели Баландина вне конкуренции. Осциллограммы вибрации (амплитуды 0,05—0,1 мм) самых мощных образцов, снятые в трех плоскостях, кажутся неправдоподобными. Даже у турбин вибрация, как правило, не меньше. Идеальная уравнированность сохраняется при любом кратном 4 числе цилиндров. Хотя в принципе возможны одно- и двухцилиндровые двигатели. Из базовых блоков по четыре цилиндра, как из кубиков, можно складывать любые композиции, не сомневаясь в их превосходных характеристиках.

Нельзя не сказать и об экономичности. Удельный расход топлива у двигателя Баландина в среднем на 10% ниже, чем у шатунных прототипов. Но это не все! Путем отключения подачи топлива в один или несколько рядов цилиндров (и это было осуществлено!) можно заставить двигатели работать с высокой и практически постоянной экономичностью на режимах от 0,25 до верхнего предела номинальной мощности. Режиму работы на частичных нагрузках, а это основной и, как ни странно, наименее изученный режим работы большинства двигателей, последнее время уделяется максимальное внимание. Ведь КПД обычных двигателей оптимален в узких диапазонах мощности и числа оборотов.

Многоцилиндровые бесшатунные двигатели практически не изменяют эффективность и при любой частичной нагрузке. Невероятно, но опять же проверенный экспериментально факт, что и у них удельный расход топлива можно снизить еще минимум на 10%. Достигается это применением так называемого цикла с удлиненным расширением, т. е. с более длинным рабочим ходом поршня. Цикл этот не находит применения на обычных двигателях, так как приходится резко увеличивать их габарит. В бесшатунных двигателях требуемое увеличение размеров ровно вдвое меньше, а с учетом их малогабаритности вообще такой шаг почти не отражается на весовых характеристиках двигателя.

И последнее. Стоимость производства даже опытных образцов двигателей С. Баландина в среднем в 1,6 раза ниже, чем аналогичных по мощности серийных. То же самое будет и в новых разработках. Залог тому и меньшее количество деталей, и технологичность конструкций.

Двигатель Шнейдера. Среди необычных двигателей есть еще один, в котором также отсутствует шатун. Разработал его руководитель группы Рижского дизель-строительного завода Л. И. Шнейдер.

Толчком к созданию двигателя был успех двигателей Ванкеля. Будучи двигателем, Л. И. Шнейдер хорошо представлял себе и преимущества и недостатки этой конструкции и в собственной разработке попытался совместить вращение поршня с его традиционной формой. Двигатель получился биротативным. Однако от двигателя А. Г. Уфимцева, построенного в начале века, он отличался тем, что и кривошипный вал, и блок цилиндров вращаются в одну сторону и, кроме того, тем, что в нем отсутствуют шатуны.

Конструктивная схема двигателя изображена на рис. 8. В неподвижном тонкостенном кожухе, образующем рубашку воздушного охлаждения, вращается на подшипниках блок с четырьмя крестообразно расположенными цилиндрами. В цилиндрах размещены двух-

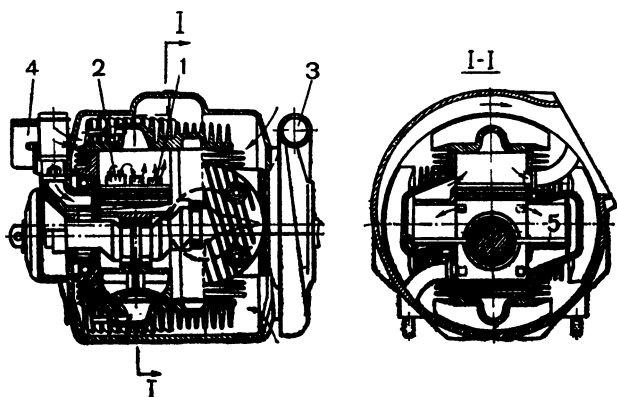


Рис. 8. Двигатель Л. И. Шнейдера:

1 — перепускные окна; 2 — выхлопные окна; 3 — нагнетатель;
4 — карбюратор; 5 — продувочные лопасти

сторонние поршни с плоскими продувочными лопастями 5 (рис. 8) с боков. Поршни посажены непосредственно на кривошипные шейки вала. Вал вращается в подшипниках, эксцентричных подшипникам блока цилиндров. Поршни синхронизируют вращение блока цилиндров и кривошипного вала, причем блок вращается в ту же сторону с вдвое меньшей скоростью.

Продувочные лопасти перемещаются в полостях блока цилиндров и обеспечивают всасывание рабочей смеси из кривошипной камеры и карбюратора 4, ее предварительное сжатие (объем кривошипной камеры постоянен) и перепуск в рабочие камеры. Газораспределение обеспечивается рациональным расположением перепускных 1 и выхлопных 2 окон и продувочными лопастями. За один оборот блока цилиндров в каждом происходит рабочий ход, а кривошипный вал делает два оборота.

Вращение блока цилиндров обеспечивает свойственное всем ротативным двигателям обогащение смеси на периферии цилиндра в районе свечи и более быстрое и полное сгорание топлива. Сгорание тут такое же, как в цилиндрах с послойным распределением заряда. Поэтому двигатель Л. Шнейдера соответствует современным требованиям по «чистоте» выхлопных газов.

К особенностям двигателя следует отнести отличную уравновешенность, возможность размещения на маховике кривошипного вала нагнетателя 3, эффективность которого ввиду удвоенной скорости вращения достаточно высока, и подсасывающее действие наклонных ребер головок блока, которые при вращении всасывают охлаждающий воздух через окна в торцах кожуха и направляют его в расположенную в центре кожуха улитку, где воздух смешивается с выхлопными газами.

Смазка двигателя осуществляется рабочей смесью, как во всех двигателях мотоциклов. Карбюратор размещен на торце кожуха, противоположном нагнетателю. Зажигание — электроискровое. Распределитель зажигания — сами свечи.

Макетный образец двигателя, испытывавшийся на Рижском дизелестроительном заводе, весил 31 кг при рабочем объеме 0,9 л. Расчетный удельный вес двигателя в карбюраторном варианте 0,6—1 кг/л. с., в дизельном — от 1 до 2 кг/л. с. По сравнению с обычными

двигателями с аналогичными параметрами двигатель Л. Шнейдера гораздо компактнее.

Двигатель Кашуба—Кораблева. Еще один бесшатунный двигатель предложили два изобретателя из севастопольского объединения «Югрыбхолодфлот» — Н. К. Кашуба и И. А. Кораблев. Они сконструировали двигатель (рис. 9), в котором неподвижные поршни укреплены на раме 1, а перемещается блок цилиндров 2. Его движение преобразуется во вращение шестеренчатым механизмом 3 с полушестернями, взаимодействующими с зубчатыми рейками. Единственный шатун 4 служит для синхронизации и пуска. Поскольку потери в зубчатых передачах малы, механический КПД двигателя должен быть выше, чем у обычных многшатунных конструкций. Модель двигателя, работающая на сжатом воздухе, показала, что принятая схема вполне работоспособна. И воодушевленные изобретатели сконструировали на ее основе тихоходный судовой дизель. Он получился гораздо компактнее, чем обычный. А многочисленные расчеты элементов конструкции и рабочего цикла, выполненные с помощью студентов-дипломников кафедры ДВС Кораблестроительного института, подтвердили, что надежды авторов на преимущества двигателя вполне обоснованы. Не вызвали они сомне-

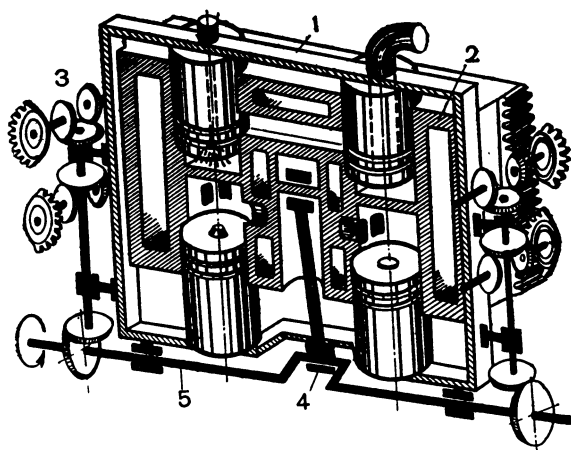


Рис. 9. Схема двигателя изобретателей Н. К. Кашуба и И. А. Кораблева:

1 — неподвижная рама; 2 — подвижный блок цилиндров;
3 — механизм преобразования движения; 4 — синхронизирующий шатун; 5 — вал отбора мощности

ния и у организаций, давших отзывы на проект двигателя.

Даже в четырехцилиндровом варианте двигатель должен обладать повышенной литровой и эффективной мощностью и уменьшенным удельным расходом топлива. При большем числе цилиндров выигрыш увеличивается. В среднем улучшение основных параметров по осторожным оценкам составляет около 10%. Надо ли говорить о том, насколько это важно для судов, совершающих дальние рейсы! Радует корабелов и увеличение моторесурса. Поршни этой необычной конструкции полностью разгружены от боковых усилий. А именно их износ, зачастую, определяет судьбу машины. Боковые усилия в двигателе создает лишь синхронизирующий шатун. Они невелики и, кроме того, воспринимаются рамой, на которой укреплены поршни.

Подача воздуха и топлива осуществляется через поршни, газораспределение — системой окон и перепускных каналов, так как двигатель двухтактный с наддувом как в большинстве судовых конструкций. Охлаждение блока цилиндров водой может быть осуществлено через два дополнительных поршня. Его движение не мешает функционированию системы охлаждения. Чтобы снизить инерционные нагрузки, блок изготавливается из легких сплавов. Его масса получается немногим большей, чем масса движущихся частей в обычных конструкциях. Расчеты и испытания модели показали, что осложнениями это не грозит.

Оригинален в двигателе и механизм преобразования движения. От ударных нагрузок на зубья полушестерен при входе в зацепление с рейкой изобретатели избавились, применив автоматически выдвигающиеся зубья шестерен. Вращение их валов синхронизируется специальной шестеренчатой парой (на рис. 9 не показана). В целом двигатель — еще один интересный пример поиска путей усовершенствования классической схемы.

Двигатель Гуськова—Улыбина. Изобретатели бесшатунных механизмов в первую очередь преследуют цель избавиться от трения поршня о стенку цилиндра, на долю которого приходится половина (!) всех потерь на трение. Того же самого можно добиться и другим путем. Двигатель внутреннего сгорания, в котором трение поршня о цилиндр исключено, разработан воронеж-

скими изобретателями Г. Г. Гуськовым и Н. Н. Улыбиным (а. с. № 323562). В этом двигателе традиционный шатунный механизм заменен одним из механизмов П. Л. Чебышева.

И вот созданный 100 лет назад механизм открывает перед поршневыми двигателями новые возможности. По мнению авторов, отсутствие главного источника потерь на трение позволит резко увеличить обороты и моторесурс, в 1,5 раза экономичность и даже упростить конструкцию. Можно заподозрить авторов в недостаточно критическом подходе к своему детищу, тем более что при первом знакомстве с проектом настораживают слова «приблизленно прямолинейный». Однако осторожные термины говорят лишь о щепетильности П. Л. Чебышева в оценке механизмов. Отклонение от прямой для конкретной конструкции двигателя (рис. 10) гораздо меньше общепринятых зазоров в паре «поршень—цилиндр». Кроме прямолинейности траектории, механизм обладает еще одним достоинством — отсутствием прижимающих сил на поршнях. Эти силы — главный источник трения — воспринимаются дополнительным шатуном. При этом потери на трение в дополнительном шатуне составляют всего 5—6%, что допускает увеличение оборотов до 10 тыс. в минуту и более.

Высокооборотность позволяет отказаться от... поршневых колец и перейти на лабиринтное уплотнение (см. рис. 10). Никто не возьмется заводить обычный ДВС при отсутствии колец — не будет компрессии. Но если каким-то образом удалить кольца у работающего двигателя, на его работе это практически не отразится. Любые двигатели для мотоциклов неплохо работают всего с од-

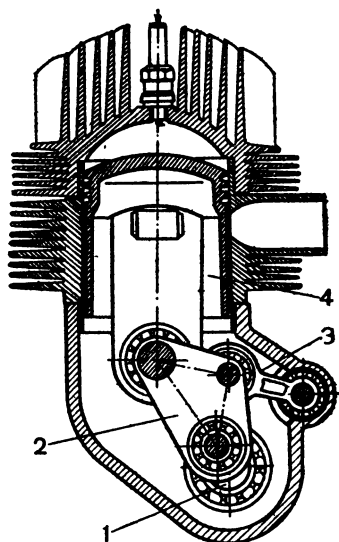


Рис. 10. Двигатель Г. Г. Гуськова и Н. Н. Улыбина:

1 — кривошип (радиус кривошипа втрое меньше, чем в обычных двигателях); 2 — главный шатун; 3 — дополнительный шатун; 4 — поршень

ним кольцом, а самые маленькие и высокооборотные — вообще без колец (например, «Хонда» — 21 тыс. об/мин или авиамодельные — 8—15 тыс. об/мин). Поэтому при специальной конструкции поршня и системы пуска (повышение пусковых оборотов или «ударный» пуск) такое решение вполне приемлемо.

Лабиринтное уплотнение наилучшим образом работает всухую. Поэтому смазка либо будет отсутствовать вообще, либо будет минимальной, а возможные задиры предотвратит прографичивание направляющих поясков поршней. Отсутствие масла в камере сгорания приведет к снижению дымления. Стоит ли говорить, что в настоящее время, когда уже подготавливаются законы о полном запрещении дымящих двигателей, этот частный факт весьма немаловажен.

И наконец, еще одна интереснейшая особенность двигателя, реализовать которую позволяет механизм Чебышева. Это компрессионное зажигание. С ростом оборотов зажигание одноэлектродной свечой часто не обеспечивает нужного качества сгорания смеси. Две свечи, многоэлектродные свечи, электронное или форкамерно-факельное зажигание — все это дает более приемлемые результаты.

Компрессионное зажигание еще эффективнее: высокая — около 30 — степень сжатия обеспечивает в конце такта сжатия температуру, достаточную для быстрого самовоспламенения сильно обедненной¹ смеси во всем объеме, чем гарантируется полное сгорание и повышенная экономичность работы двигателя. Применение компрессионного зажигания предполагает переменную степень сжатия: по мере разогрева камеры сгорания требуется уменьшение степени сжатия. Немало изобретательских начинаний потерпело крах на этом пути: всяческие «эластичные» элементы в конструкции не держали температуры и нагрузок от «жесткого» сгорания (дизельной детонации). И только в компрессионных моторчиках авиамodelей этот способ успешно используется, но там регулировка степени сжатия проводится самим моделистом сразу после пуска мотора.

Расчеты авторов показали, что механизм Чебышева обладает великолепной податливостью, позволяющей не вводить в конструкцию никаких добавочных «эла-

¹ Смесь с избытком воздуха.

стичных» элементов и вместе с тем получить вполне приемлемую псевдопеременную степень сжатия. Благодаря взаимному расположению деталей механизма двигателя автоматически приспособится к переменным условиям работы.

Полнота сгорания обедненной смеси вкупе с отсутствием смазки цилиндра снизят концентрацию вредных веществ в выхлопных газах (за исключением окиси азота). Двигатель заинтересовал специалистов. В 1975 г. в НАМИ закончено изготовление опытного образца.

Двигатель Кузьмина. Двигатель с механизмом Чебышева, о котором рассказано выше, предназначается для мотоциклов. И это не единственная новинка в копилке изобретателей. В вышедшей не так давно книге «Мотоцикл» (С. В. Иваницкий и др., 1971), написанной группой ведущих сотрудников ВНИИмотопроба, указывается, что «малая эффективность смазки стала сдерживать прогресс двухтактных двигателей». Один из путей решения проблемы — внесение различных конструктивных изменений в классическую схему смазки.

Преимущества отдельных систем смазки двухтактных двигателей с масляными насосами — лучшая смазка деталей кривошипно-шатунного механизма; снижение нагарообразования, закоксовывания колец и дымления двигателей; отдельная заправка масла и топлива — вобрала в себя система смазки, созданная советскопольским изобретателем В. И. Кузьминым (а. с. № 339633). У нее есть по меньшей мере еще два положительных качества: отсутствие сложного маслоподающего насоса, что определяет простоту и повышенную надежность системы, и частичная циркуляция масла по контуру цилиндр—масляный бачок, благодаря чему улучшается охлаждение и снижается тепловая напряженность двигателя.

Основные элементы системы смазки (рис. 11, а) — это двухлитровый бачок 1, уместающийся в боковом ящике мотоцикла, маслопроводы 2 и изогнутые канавки 6 на зеркале цилиндра, связанные с маслопроводами отверстиями. В цилиндр масло подсасывается за счет разрежения (насос не нужен!). В нижнюю канавку масло поступает через три отверстия 7 диаметром 1 мм (рис. 11, б) при движении поршня вверх от нижней мертвой точки (НМТ) до момента открытия всасываю-

щего окна, т. е. только в момент наибольшего разрежения в картере. В верхнюю канавку масло увлекается из нижней канавки фрикционным воздействием поршня. При воспламенении смеси часть газов, прорвавшихся через замки поршневых колец в зазор между цилиндром и поршнем, выдавит масло из верхней канавки обратно в бачок. При этом давление в бачке возрастет и в нижнюю канавку поступит новая порция масла.

При ходе поршня к НМТ вязкое масло увлекается вдоль наклонных частей нижней канавки, благодаря чему в зоне поршневого пальца создается обилие масла. По пазам, выполненным в бобышках поршня (под палец), часть масла поступает к верхней, а под действием гравитационных сил и к нижней головке шатуна. Другая часть увлекается юбкой поршня в район масляных каналов подшипников коленчатого вала. Поступление масла происходит до момента увеличения давления в картере. Таким образом, ко всем важнейшим узлам кривошипно-шатунного механизма циклически поступают порции свежего масла.

Количество поступающего масла автоматически (!) увязывается с числом оборотов и нагрузкой двигателя: чем больше разрежение в картере, тем больше масла подсасывается в нижнюю канавку. Для дополнительной

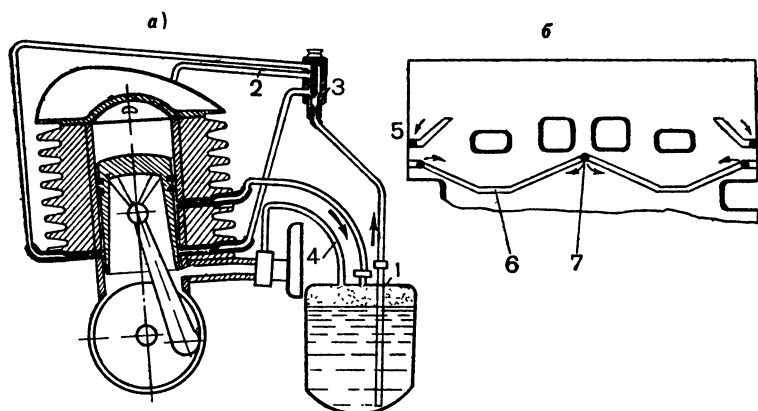


Рис. 11. Схема системы смазки В. И. Кузьмина (а) и развертка цилиндра двигателя (б).

1 — бачок с маслом; 2 — маслопроводы; 3 — регулирующий клапан, связанный с ручкой газа; 4 — трубопровод для выравнивания давления; 5 — развертка цилиндра; 6 — канавки на зеркале цилиндра; 7 — отверстия

регулировки на линии подачи масла установлен игольчатый клапан 3, управляемый вращающейся ручкой дросселя (газа). Еще один маслопровод 4, которым масляный бачок соединен с всасывающим патрубком за карбюратором, служит для выравнивания давления в бачке. В этой линии установлен небольшой дроссельный винт. Изменяя его положение, можно в широких пределах варьировать подачу масла в цилиндр.

Очень многие двигатели мотоциклов изрядно дымят. Отчасти это объясняется особенностями классической системы смазки, где масло добавляется в пропорции 1 к 20—25 частям бензина, отчасти неграмотностью водителей, которые, считая, что «кашу маслом не испортишь», увеличивают долю масла. Мало кто из водителей знает, что от холостого хода до средних оборотов (дроссель открыт наполовину) для смазки двигателя достаточно пропорции от 1:200 до 1:60. И только при полной нагрузке требуется состав 1:20. Естественно, что классическая система смазки не отвечает этим требованиям. Избыток масла при малых нагрузках как раз и приводит к дымлению.

Через несколько лет повысившиеся требования к чистоте выхлопа поставят перед этой схемой непреодолимый заслон. ГАИ уже сейчас начинает снимать номера с особо дымящих мотоциклов, а с учетом претензий к классической схеме по качеству смазки в ближайшие годы следует ожидать широкого распространения двухтактных двигателей с разделными системами смазки.

Поэтому работа Кузьмина может заинтересовать нашу мотопромышленность. Оригинальная система смазки могла бы обеспечить беспрепятственный сбыт ИЖей и «Ковровцев» за рубежом. Возможно, что придется подумать лишь над увеличением эффективности смазки коренного подшипника шатуна. Обилие масла, поступающего на подшипники коленчатого вала, указывает на возможность применения устройства, подобного описанному в книге «Мотоцикл», в котором удачно использованы центробежные силы. Во всех остальных отношениях система советского изобретателя превосходит зарубежные.

Кузьмин установил свою систему смазки на «Ковровце». И вот позади уже 50 тыс. км, а поршень и цилиндр имеют абсолютно чистую поверхность, без ма-

лейших следов задигов. Мотоцикл не дымит, лучше тянет (сгорает лишь чистый бензин и все детали прекрасно смазываются). Существенного износа нет ни на поршневом пальце, ни в подшипниках шатуна и коленчатого вала, хотя обычно при таком пробеге шатунно-поршневая группа уже требует замены.

Надежная система смазки позволила повысить мощность двигателя. Причем для этого В. Кузьмин вместе с Г. Ивановым применил оригинальное решение, на которое их натолкнула статья о смерчах, появившаяся в популярном журнале. Смерч закручивает, перемешивает воздух. В двигателях более полное перемешивание смеси увеличивает полноту сгорания топлива, что приводит к росту мощности. Изменив форму камеры сгорания путем заварки и выточив в ней два вихреобразующих углубления, Кузьмин и Иванов попытались повысить мощность двигателя. После нескольких неудачных попыток рациональная форма вихреобразующих углублений была найдена и мощность двигателя «Ковровца» стала близка к 20 л. с.!

Эффективность работы двигателя определяется многими показателями, среди которых не на последнем месте стоят тепловые потери в камере сгорания. Минимальны они у шатровых (сферических) камер сгорания и их поверхность — это тот предел, к которому стремятся конструкторы. Любые отклонения от сферы увеличивают поверхность и приводят к росту тепловых потерь. В нашем случае выигрыш от повышенной эффективности сгорания, по-видимому, существенно превышает вред, вносимый некоторым увеличением поверхности.

Термически наиболее нагружено днище поршня. При резком увеличении мощности и, следовательно, тепловой напряженности днище поршня может прогореть. Чтобы этого не произошло, на картере описываемого двигателя (в камере предварительного сжатия) размещена деталь сложной конфигурации — подпоршневой вытеснитель, удаляющий нагретую смесь из-под поршня. Этим изобретатели добились интенсивного охлаждения днища поршня; турбулизировали смесь в кривошипной камере и уменьшили объем кривошипной камеры, тем самым увеличив степень предварительного сжатия. И теперь на «Ковровце» можно смело пускаться в любые путешествия.

Автономная система смазки гарантирует надежную и продолжительную работу наиболее слабого звена — кривошипно-шатунного механизма. Камера и вытеснитель улучшают смесеобразование и эффективность сгорания, снижают удельный расход топлива и обеспечивают высокую мощность — залог отличных ходовых качеств мотоцикла. А они действительно высокие. Удел обычных «Ковровцев» 70—90 км/ч, усовершенствованная машина легко развивает 100—110 км/ч. Пришлось даже отбалансировать колеса, так как при высокой средней скорости тряска от небаланса, обычно незаметная, стала надоедать. Добившись прекрасных результатов сравнительно простыми средствами, севастопольские изобретатели мечтают о внедрении своего изобретения. Они готовы предоставить любую информацию, в том числе и сам мотоцикл, заинтересованным организациям.

Развив и доработав их идеи, можно сконструировать машины, превосходящие мотоциклы лучших зарубежных фирм. Ну и, конечно, решения севастопольцев могут найти применение не только на мотоциклах, но и на любых других двигателях. Так, например, недавно выяснилось, что максимальная степень сжатия бензиновых двигателей может составлять не 12, как было принято, а 14,5—17,5. Термический КПД двигателя возрастает при этом почти на 15%! Но чтобы реализовать этот выигрыш, не повышая октанового числа топлива выше 100, в первую очередь следует применять вытеснители, сильно турбулизирующие смесь. Вытеснитель и камера «Ковровца» как раз и являются образцами такого устройства.

Гибкий шатун. Наши представления о целом ряде деталей — своеобразный стереотип. Скажем, что такое шатун? Это фигурная пластина с двумя отверстиями. В крайнем случае одно или оба отверстия заменяются шаровыми головками. Эти две конструкции кочуют из машины в машину. И чертят, и ставят их, не задумываясь. Да и что может быть иного?

Взглянем на шатун сбоку. Он должен быть строго перпендикулярен продольной оси двигателя. Но представьте, что шатунная шейка коленчатого вала чуть-чуть непараллельна оси. Головка шатуна сдвинется в сторону. Представьте теперь, что отверстия нижней и верхней головок шатуна слегка перекошились. Такое

имеет место сплошь и рядом, хотя бы и в пределах допусков. В итоге ось поршневого пальца, которая обязана быть параллельной оси двигателя, практически никогда такого идеального положения не занимает.

Учтя погрешность расточки отверстия под палец и неточность установки блока цилиндров на картер, получим, что даже при весьма высокой точности изготовления обеспечить параллельность стенок цилиндра и поршня практически невозможно!

Но ведь миллионы ДВС работают! «Могли бы работать лучше», — утверждает изобретатель из г. Комсомольска-на-Днепре В. С. Саленко. Для этого шатун нужно изготавливать трехзвенным (рис. 12) так, чтобы поршень самоустанавливался по цилиндру, а нижняя головка — по шатунной шейке. Вблизи верхней и нижней головок шатуна перпендикулярно их отверстиям добавляются пальцевые шарнирные соединения.

Трудно поверить в необходимость такого усложнения простой детали. Но, например, если после нескольких часов обкатки разобрать любой двигатель, то станет ясно, что «необходимость» зачастую отнюдь не теоретическая. Поршни почти всех ДВС делают слегка эллиптическими: в направлении поршневого пальца их размер меньше. После нескольких часов работы износа с боков теоретически не должно быть. На самом деле он чаще всего имеется и указывает на перекося поршня в цилиндре. Перекос повлечет не только износ поршня, но и конусность подшипников пальца и шатунной шейки, их неравномерный износ по длине. В основном эти процессы идут при обкатке. Потом все «лишнее» сотрется и детали найдут положение, в котором будут долго и исправно работать. Но зазоры при обкатке неизбежно увеличатся.

Шатунно-поршневая группа определяет ресурс двигателя. Применяв трехзвенный шатун, все «лишнее», стираемое при обкатке можно будет полезно использо-

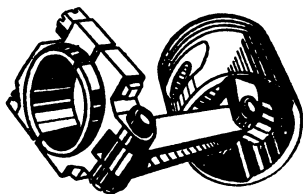


Рис. 12. Трехзвенный шатун

вать — увеличить моторесурс. В. С. Саленко изготовил несколько трехзвенных шатунов для мотоциклов и двигателя автомобиля «Москвич». Двигатель «Москвича», собранный в кустарных условиях (!), несмотря на то, что зазоры во всех шарнирных соединениях составляли 0,005 диаметра, при обкатке заводился легко и на самых малых оборотах работал четко и устойчиво.

Двигатели внешнего сгорания

Внимание к двигателям внешнего сгорания объясняется главным образом двумя причинами: тем, что сжигание топлива вне камеры сгорания позволяет резко снизить количество вредных примесей в отработавших газах и тем, что КПД таких двигателей может быть существенно выше, чем у прочих.

В первую очередь это поршневые двигатели, реализующие циклы Стирлинга и Эриксона, и... паровые машины. Сейчас наиболее известен цикл Стирлинга, отличающийся от цикла Эриксона тем, что нагрев и охлаждение газа производятся при постоянном объеме по изохоре, а не при постоянном давлении — по изобаре (рис. 13). При равных верхнем и нижнем уровнях температур двигателя Стирлинга и Эриксона с регенераторами имеют одинаковый КПД, но экономичность «стирлинга» выше, так как для нагрева газа по изохоре требуемые затраты тепла меньше. Из рис. 13 следует, что полезная работа, характеризующаяся в $T-S$ диаграмме площадью цикла, у двигателей Стирлинга также выше.

Интересно отметить, что оба двигателя появились в эпоху расцвета паровых машин и вплоть до начала нашего века выпускались в значительных количествах. Однако реализовать их преимущества в то время никому не удалось и в первую очередь по причине крайней громоздкости, они были полностью вытеснены ДВС.

Второе рождение двигателя Стирлинга состоялось в 50-х годах. И уже первый опытный образец ошеломил создателей небывало высоким КПД, равным 39% (теоретически до 70%). Рассмотрим принцип его действия (рис. 14).

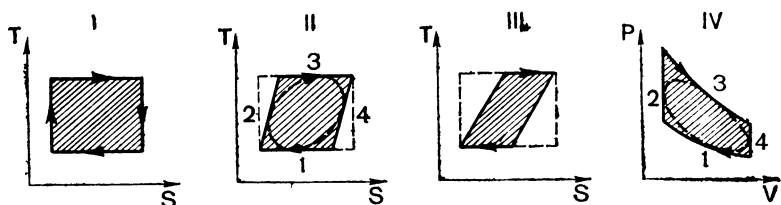


Рис. 13. Циклы тепловых машин:

I — цикл Карно; *II* — цикл Стирлинга; *III* — цикл Эриксона; *IV* — цикл Стирлинга в P — V координатах; *1* и *3* — изотермы; *2* и *4* — изохоры

В двигателе имеются два поршня и две камеры: сжатия (между поршнями) и нагрева (над верхним поршнем). Через центр основного рабочего поршня *1* проходит шток, на котором укреплен второй поршень *2*, называемый поршнем-вытеснителем.

Благодаря конструкции параллелограммного механизма движение поршня-вытеснителя отстает по фазе от движения основного поршня. Поршни то максимально сближаются, то отдаляются друг от друга. Изменение объема газа между поршнями на рисунке отображено двумя пунктирными кривыми. Площадь между ними соответствует изменению объема защемленного пространства, а нижняя кривая характеризует изменение объема над рабочим поршнем. Когда поршни движутся навстречу друг другу, рабочий газ в камере сжатия сжимается (только за счет движения поршня *1* вверх) и одновременно вытесняется в холодильник *3* и далее через регенератор *4* в камеру нагрева. Регенерировать — значит восстанавливать. В регенераторе газ воспринимает тепло, которое регенератор принял от порции газа, до этого прошедшей через него в обратном направлении. После этого газ попадает в головку машины (камеру нагрева), постоянно обогреваемую внешним источником тепла. Здесь газ быстро нагревается до температуры $600\text{--}800^\circ\text{C}$ и начинает расширяться. Расширяющийся газ пойдет через регенератор и холодильник, в котором его температура еще понизится, в камеру сжатия, где он совершит механическую работу.

Поршень-вытеснитель, двигаясь вверх, вытолкнет весь газ из камеры нагрева в камеру сжатия. После этого цикл повторяется. Итак, машина перекачивает

тепло из камеры нагрева с высокой температурой в камеру сжатия с температурой окружающего пространства. Энергия, приобретенная газом в камере нагрева, превращается в механическую работу, снимаемую с вала двигателя.

К достоинствам «стирлинга», помимо высоких КПД и стерильности, необходимо добавить еще одно — способность работать на любом виде топлива или тепловой энергии, а также бесшумность и плавность работы. Этими качествами существующие «стирлинги» не в последнюю очередь обязаны приводу.

Первые выпущенные на рынок «стирлинги» имели простой кривошипный привод с двухколенным валом со сдвинутыми примерно на 70° шейками. Это обеспечило неплохой рабочий процесс, но машины вибрировали — уравновесить такой привод полностью невозможно. В следующих модификациях появился параллелограммный привод. Вибрация практически исчезла (редкая удача!), но рабочий процесс слегка ухудшился. Из двух зол выбирают меньшее: нет вибрации — выше надежность.

Ухудшение процесса объясняется тем, что реальный цикл существенно отличается от теоретического. На рис. 13 (в координатах $T-S$) внутри идеального параллелограмма, характеризующего цикл Стирлинга, показан овал — он-то и отображает реальные процессы. На рисунке (схема IV) представлен тот же цикл в более привычных двигателям координатах $P-V$. Задача

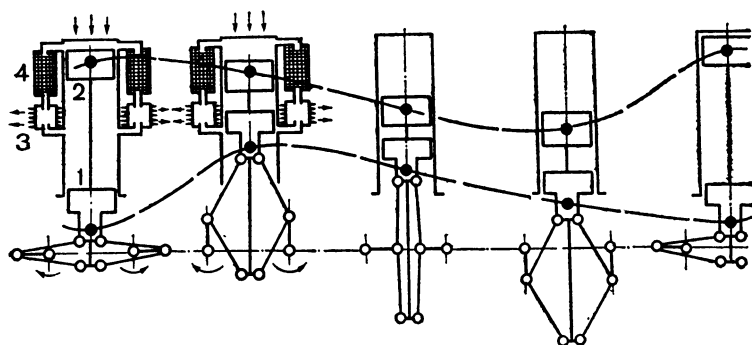


Рис. 14. Схема работы двигателя Стирлинга:

1 — рабочий поршень; 2 — поршень-вытеснитель; 3 — холодильник; 4 — регенератор

привода — максимально приблизить овал к идеальным очертаниям, не ухудшая механических качеств двигателя.

Параллелограммный привод, примененный голландскими инженерами для усовершенствованной модели, соответствовал этому условию лишь частично. Гораздо лучшее решение (рис. 15) предложили узбекские ученые и инженеры Т. Я. Умаров, В. С. Трухов, Ю. Е. Ключевский, Н. В. Борисов, Л. Д. Меркушев — сотрудники отдела гелиофизики Физико-технического института АН Узбекской ССР.

В старом приводе (рис. 15, а) траектория точек кривошипа, определяющих движение поршней, — окружность. В новом приводе (рис. 15, б) для поршня-вытеснителя — окружность, для рабочего — эллипс. Это позволяет, сохранив все преимущества параллелограммного привода, добиться лучшего согласования движения поршней и приблизить реальный цикл к идеальному. Решение защищено авторским свидетельством № 273583.

Главный недостаток «стирлингов» — громоздкость. На 1 л. с. мощности в построенных конструкциях приходится 4—5 кг против 0,5—1,5 кг в обычных двигателях. Сбавить вес могут помочь несколько изобретений Т. Я. Умарова, В. С. Трухова и Ю. Е. Ключевского. В двигателе по а. с. № 261028 поршень-вытеснитель на отдельных этапах своего движения выполняет функции поршня рабочего, т. е. используется более эффективно. Взгляните на рис. 15, в. Когда оба поршня движутся вверх, в сжатии участвует и тот и другой. Достигнуто

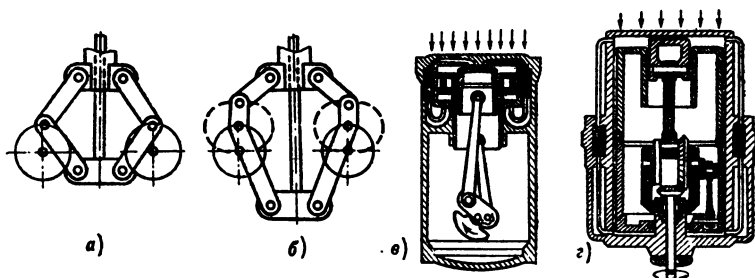


Рис. 15. Схемы привода (а, б) и двигателей Стирлинга (в, г): а — старый привод; б — параллелограммный привод по а. с. № 273583; в — двигатель внешнего сгорания по а. с. № 261028; г — двигатель по а. с. № 385065

это благодаря тому, что рабочий поршень размещен внутри поршня-вытеснителя. То же самое происходит в момент расширения — рабочего хода. В итоге более равномерно нагружен привод, увеличивается доля рабочего хода в общем цикле, сокращены габариты и, следовательно, вес машины.

Еще меньшие размеры имеет двигатель по а. с. № 385065 тех же авторов (рис. 15, *г*). Помимо размещения рабочего поршня внутри поршня-вытеснителя, последний выполнен с замкнутой внутренней полостью, в которой размещен привод, состоящий из коленчатого вала и пары конических шестерен. Интерес ташкентских ученых к двигателям внешнего сгорания — не просто увлечение модной темой. Они необходимы им как один из элементов простых, надежных и эффективных гелиосистем. Собранные в пучок солнечные лучи приведут в движение «стирлинг» любой мыслимой конструкции, и эффективность такой системы существенно превысит эффективность солнечных батарей или теплоаккумуляторов.

Двигатели с циклами внешнего сгорания таят в себе удивительные возможности. И можно смело сказать, что внимание изобретательских и инженерных кругов

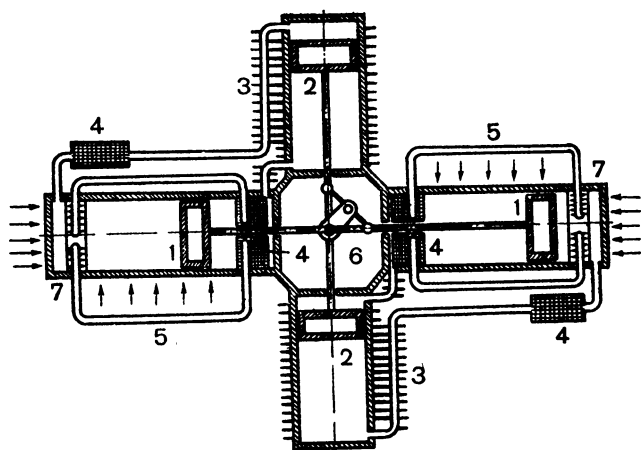


Рис. 16. Схема двигателя внешнего сгорания В. И. Андреева и А. П. Меркулова:

1 — рабочий поршень; 2 — поршень-вытеснитель; 3 — холодильник;
4 — регенератор; 5 — тепловые трубки; 6 — механизм Баландина;
7 — камеры нагрева

к ним явно недостаточно. Пример тому авторское свидетельство № 376590 инженера В. И. Андреева и доктора технических наук А. П. Меркулова. В их двигателе (рис. 16) применен бесшатунный механизм б С. С. Баландина. «Стирлинг» с механизмом С. С. Баландина стал гораздо компактнее. Но суть изобретения не в этом: камеры нагрева 7 нового двигателя связаны тепловыми трубками 5 — сверхпроводниками тепла. Испарение и конденсация помещенных в них веществ обеспечивают практически мгновенную передачу огромного применительно к размерам потока тепла от одного конца трубки к другому.

Трубки позволили изобретателям найти правильное решение одной из проблем двигателей внешнего сгорания — неравномерного отбора тепла. В тепловых циклах обычных ДВС подвод тепла проводится в строго определенное время. А в двигателях внешнего сгорания нагрев головки идет постоянно. В результате в моменты, когда отбора тепла нет, головки перегреваются. Приходится снижать температуру нагрева, а это прямо сказывается на КПД: чем ниже температура, тем он ниже. Обидно, но ничего не поделаешь: применение термостойких материалов снижает коэффициент теплопередачи, применение теплопроводных — требует снизить допустимую температуру нагрева головки.

Двигатель Андреева и Меркулова двухстороннего действия. Когда рабочий ход с одной стороны поршня заканчивается, тепловые трубки «перекачивают» избыток тепла в противоположную камеру нагрева. Тем самым температура зоны нагрева выравнивается и ее можно существенно повысить. Двухсторонним действием новый «стирлинг» обязан механизму С. Баландина. Из всех известных только механизм С. Баландина позволяет осуществить двухстороннее действие с максимальной выгодой при минимальном увеличении габаритов и максимально возможном механическом КПД.

В двигателе Андреева—Меркулова поршни-вытеснители 2 и основные рабочие поршни 1 установлены в отдельных цилиндрах, а с каждой стороны поршня расположена самостоятельная камера. Камеры попарно соединены между собой трубопроводами, на которых укреплены ребра холодильников. В каждой паре камер осуществляется цикл одноцилиндрового «стирлинга».

На схеме, иллюстрирующей принцип действия одно-

цилиндрового «стирлинга» (см. рис. 14), хорошо видна асинхронность движения поршней, обеспечиваемая параллелограммным механизмом. Тот же эффект достигается и в бесшатунном механизме С. Баландина и в любом другом многшатунном механизме, если шейки коленчатого вала сместить на некоторый угол.

Коэффициент полезного действия уже построенных двигателей внешнего сгорания достигает 40%. По расчетам В. Андреева и А. Меркулова повысить его минимум на 15% можно, только применив тепловые трубки. Не меньше даст механизм С. Баландина. Реальный КПД машины приблизится к теоретическому — 70%! Это почти вдвое выше, чем у лучших ДВС нашего времени. Прибавьте сюда «стерильность» двигателя Стирлинга.

За рубежом испытывали двигатель внешнего сгорания для легкового автомобиля. Оказалось, что концентрация СО в выхлопных газах понизилась в 17—25 раз, окислов азота — почти в 200 (!), углеводов — в 100 раз.

«Стирлинг», спроектированный В. Андреевым и А. Меркуловым, при мощности 50 л. с. весит 70 кг, или 1,4 кг/л. с. — на уровне лучших образцов карбюраторных автомобильных двигателей. И это не преувеличение. В результате использования механизма С. С. Баландина сократился габарит, а от давления в картере авторы избавились установкой на штоке перекачивающей резиновой мембраны, которая способна выдерживать давления до 60 кг/см² (обычно в запоршневом пространстве этих двигателей около 40 кг/см²). Тепловые трубки увеличили мощность при тех же габаритах. Вскоре после получения авторского свидетельства изобретатели обнаружили выданный чуть позднее фирме «Дженерал моторс» патент США, где оговорено применение тепловых трубок для подвода тепла внутрь двигателя внешнего сгорания. Смысл один, суть несколько разная.

Двигатели внешнего сгорания известны более 150 лет. Коэффициент полезного действия первого из них был равен 0,14%! Можно сказать, что родились они раньше времени. Существенные недостатки долгое время держали их на «задворках». Всплески технической мысли, подобные идее В. Андреева и А. Меркулова, открывают перед ними зеленую улицу.

Существует и другой интереснейший путь приближения эффективности «стирлингов» к теоретической, также найденный советскими учеными — сотрудниками Института ядерной энергетики АН БССР. В ряде авторских свидетельств № 166202, 213039, 213042, 201434, авторами которых являются И. М. Ковтун, Б. С. Стечкин, А. Н. Наумов, С. Л. Косматов, излагаются способы, позволяющие обойти вековечный запрет термодинамики и построить тепловые машины с эффективностью выше, чем у цикла Карно. Это утверждение, опровергающее азбучные истины, известные всем теплотехникам, звучит на первый взгляд парадоксально. И вместе с тем такие машины возможны. Во всех без исключения фундаментальных трудах, посвященных тепловым машинам, предполагается, что свойства рабочих тел — газов во время работы не меняются. Суть пути, предложенного белорусскими учеными, — изменение этих свойств. Последнее возможно, если во время цикла в рабочих газах или их смесях происходят обратимые химические реакции. Так, например, термический КПД турбины может быть увеличен втрое, если при нагреве рабочее тело будет диссоциировать, а при охлаждении рекомбинировать. Такими телами могут быть газообразная сера, йод, окислы азота, кобальт, треххлористый алюминий.

В частности, треххлористый алюминий уже сейчас рассматривается как перспективное рабочее тело для «гелиостирлингов», работать которым предстоит в космосе. Главная проблема при этом — отвод тепла от холодильника. Иного пути, чем излучение тепла в пространство, там нет. Чтобы этот процесс был эффективным, температура холодильника-радиатора должна быть достаточно высокой, не менее 300°C . Верхний же предел температуры такой же, как на Земле: от 600 до 800°C . Его ограничивает теплостойкость существующих материалов. В этих условиях эффективность обычного «стирлинга» существенно снижается, а применение диссоциирующего газа позволит не только в 2—3 раза увеличить мощность, но и примерно вдвое повысить КПД.

Несомненно, что от таких преимуществ грех отказываться и на Земле. Поэтому тем, чья деятельность связана с тепловыми машинами, можно порекомендовать внимательнейшим образом изучить работы белорусских ученых. В них таятся и возможность создания крупных

тепловых машин с КПД, близким к 100%, и база для постройки автомобильных двигателей внешнего сгорания невиданной экономичности.

Первые положительные результаты уже имеются. Голландские инженеры заставили рабочее тело холодильной машины, работающей по циклу Стирлинга, совершать фазовые превращения и вдвое увеличили ее холодопроизводительность. Теперь дело за двигателями!

Паровые двигатели. Повествуя о двигателях внешнего сгорания, нельзя не упомянуть о паровых машинах. Этот вид привода, еще 100 лет назад бывший самым распространенным, сегодня расценивается как экзотический. А объясняется это лишь тем, что ДВС практически вытеснили паровые машины с автомобилями, хотя мелкосерийное производство паромобилей существовало вплоть до... 1927 г.

Энтузиасты пара приводят много доводов в пользу возрождения двигателя наших дедов. И в первую очередь соображения о высокой «стерильности» двигателя. В этом отношении паровая машина имеет те же преимущества, что и двигатель Стирлинга: в продуктах сгорания теоретически присутствуют лишь двуокись углерода и водяной пар, а количество окиси азота может быть даже еще меньшим, так как требуемая температура гораздо ниже. Кроме того, в результате более полного сгорания общее количество «выхлопа» по сравнению с ДВС ниже примерно на 1%.

Отнюдь не низок и КПД современных паровых машин. Он может быть доведен до 28% и, таким образом, быть соизмеримым с КПД карбюраторных ДВС. При этом следует отметить, что, например, общая эффективность электромобилей (с учетом процесса получения электроэнергии) не превышает 15%, т. е. в глобальном масштабе парк «стирлингов» и паромобилей загрязнял бы атмосферу практически вдвое меньше, чем аналогичный парк электроэкипажей. А если учесть и исключительные эксплуатационные качества паровых машин, то возобновление интереса к ним уже не кажется сколько-либо необоснованным. О возобновлении интереса свидетельствуют не только журнальные статьи и «свежие» патенты, но и торговля патентами на паровые машины.

Принципиальная схема одноконтурного варианта автомобильного парового двигателя приведена на

рис. 17. Источник тепла 1 доводит до кипения рабочую жидкость в котле 2. Именно «рабочую жидкость», так как ею может быть не только вода, но и другие агенты с приемлемыми температурами кипения (конденсации) и теплотехническими параметрами. Одним из перспективных агентов является, например, фреон-113, температура кипения которого (48°C) вдвое ниже, чем у воды.

Через распределительный механизм 3 пар поступает в собственно паровой двигатель 4. Отработанный пар конденсируется потоком воздуха от вентилятора 5 в конденсаторе 6, предварительно отдав часть тепла жидкости в рекуперативном теплообменнике 7. В теплообменник и далее в котел жидкость подается насосом 8. Такие элементы схемы, как двигатель 4, конденсатор 6 (радиатор) и насос 8, входят в состав любого автомобиля. Добавляются только котел 2 с нагревателем 1 и теплообменник 7.

В качестве двигателя 4 могут быть использованы практически любые как поршневые, так и ротационные машины или даже турбины. Поэтому к паровому при-

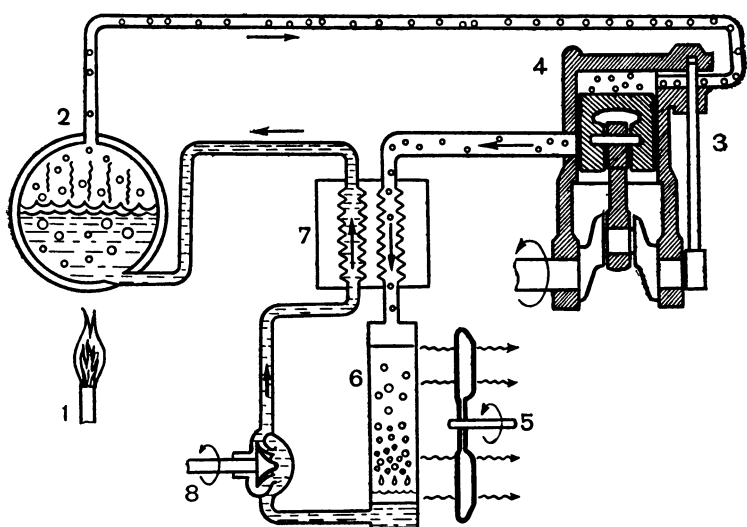


Рис. 17. Схема автомобильного парового двигателя:

1 — источник тепла; 2 — котел; 3 — распределительный механизм; 4 — двигатель; 5 — вентилятор; 6 — конденсатор; 7 — рекуперативный теплообменник; 8 — насос

воду применимы почти все технические решения, описанные в настоящей брошюре.

Преимущества описанных механизмов в сочетании с особенностями паровых машин позволят создать высокоэффективные приводы транспортных средств. Ведь азбучные достоинства современных автомобилей — бесшумность, приемистость, плавность хода — относительны. Истинному смыслу этих слов в полной мере соответствуют как раз паромобили. В них нет резкой смены давления при выхлопе, а следовательно, нет главного источника шума, а заодно и системы глушения звука выхлопа. Мало кто мог в последнее время видеть паромобиль. А вот паровозы помнят, наверное, все. Вспомним, что даже с тяжелым составом трогались с места они абсолютно бесшумно и исключительно плавно.

Плавность хода и необыкновенная приемистость паромобилей объясняются тем, что характеристика паровой машины качественно отличается от характеристики ДВС. Даже при минимальном числе оборотов в минуту ее крутящий момент не менее чем в 3—5 раз выше крутящего момента ДВС с сопоставимой мощностью при оптимальном числе оборотов. Высокий крутящий момент обеспечивает великолепную динамику разгона паромобилей. Если карбюраторные ДВС мощностью 50 л. с. обеспечивают разгон автомобиля до скорости 100 км/ч приблизительно за 20 с, то паровой машине для этого нужно вдвое меньше времени.

Немаловажно и то, что никакого переключения передач при разгоне не требуется, высокий крутящий момент у парового двигателя сохраняется во всем диапазоне числа оборотов — от нуля до максимальных. Коробки передач тут просто не нужны. Вспомните: у тех же паровозов их никогда не было. Достоинством парового двигателя является и относительно низкое число оборотов, что, в свою очередь, обуславливает повышенную долговечность. Даже при передаточном отношении от колес к двигателю, равном единице, обороты не превысят 2000—3000 в минуту при скорости экипажа до 200 км/ч (!), а обычный интервал оборотов ДВС — 3000—6000 об/мин.

Но несмотря на низкое число оборотов, удельные мощностные показатели парового двигателя превосходят аналогичные показатели ДВС. Например, получить у парового двигателя удельную мощность в 400—

600 л. с./л (при 2500—3000 об/мин) совсем не трудно. Удел обычных ДВС всего 50—100 л. с./л и только отдельные двигатели с механизмом С. Баландина имеют похожие показатели.

Ну и, наконец, надежность паровых машин занимает отнюдь не последнее место в ряду их достоинств. Еще и сейчас можно встретить на запасных путях работающие паровозы постройки начала века. И их паровые двигатели в полной исправности. Причины тому — низкое число оборотов, постоянство температурного режима (температуры пара), низкий уровень максимальных температур — в 5—6 раз меньше, чем в ДВС, полное отсутствие таких неприятных процессов, как нагарообразование и закоксование, и абсолютная чистота рабочего агента, циркулирующего в замкнутом контуре (в ДВС полную очистку воздуха осуществить не удастся).

Естественно, возникает вопрос, какие же причины мешают паровой машине вновь занять достойное место в ряду современных двигателей?

В первую очередь это малая экономичность и, как следствие, повышенный в 1,5—3 раза расход топлива. Коэффициент полезного действия поршневых паровых машин только может быть доведен до 28%¹, а у построенных образцов он существенно ниже. Ведь КПД паровозов, на которых паровая машина существовала дольше всего, уже стал синонимом низкой эффективности: он едва достигал 10% у лучших моделей с частичной обратной конденсацией пара. Правда, цикл паровых машин был разомкнут. Применение замкнутых циклов с эффективными регенеративными теплообменниками позволит существенно перешагнуть 10-процентный рубеж. А в одном из сообщений, посвященном «новому» паровому двигателю, указывалось, что эффективность генератора пара (котла) равна 90%. Примерно той же величиной характеризуется эффективность процесса сгорания ДВС. Но и даже при более высоком расходе топлива эксплуатационные расходы на паромобиль могут быть близки к его бензиновому конкуренту, так как сжигать можно самое дешевое топливо.

Вторая причина — это высокая стоимость силовой установки. Третьей причиной считается большой вес па-

¹ У паровых турбин с замкнутым контуром КПД достигает 29%.

ровой машины. Однако уже из вышеизложенного следует, что общий вес сравниваемых экипажей будет практически одинаков. Таким образом, в настоящее время нет никаких серьезных причин, мешающих паровой машине вновь занять достойное место в ряду обычных двигателей.

Роторно-поршневые двигатели внутреннего сгорания

В этом разделе речь идет о двигателях, которым авторы многочисленных публикаций порою сулят блестящее будущее. И, конечно, на первом месте стоит двигатель Ванкеля.

Но так ли уж радужны его перспективы? Экономисты всех стран едины во мнении, что только не менее чем 25% преимущества по основным показателям обеспечивают «новой технике» право на безоговорочную замену «старой».

Прошло более 15 лет с момента появления первого промышленного образца двигателя Ванкеля. Срок значительный. И оказывается, что преимущества «ванкеля» в весе составляют всего 12—15%; преимуществ по стоимости и долговечности нет, и только объем, занимаемый двигателем под капотом автомобиля, уменьшен на 30%. При этом размеры автомобилей практически не сокращаются.

Реальность опровергает и все еще бытушие утверждения о «малодетальности» этого двигателя. Один его ротор имеет 42—58 уплотнительных элементов, в то время как у сопоставимого ДВС их около 25, включая клапаны.

Еще хуже обстоят дела с многороторными двигателями. Для них нужны сложные картеры, дорогостоящая система охлаждения, многодетальный привод. Уже только двухроторный «ванкель» содержит шесть объемных отливок сложной конфигурации, а равнозначный поршневой двигатель — всего 2—3 гораздо более простых и технологичных.

Сложная технология изготовления эпитрохоиды — внутреннего профиля каждого картера, покрытие ста-

торов и многочисленных уплотнительных элементов дорогостоящими материалами, усложненная сборка сводят на нет все потенциальные преимущества «ванкелей».

И хотя уже на автосалонах 1973 г. был представлен четырехроторный двигатель мощностью 280 л. с. (объем 6,8 л; 6300 об/мин), областью применения «ванкелей» останутся одно-двухроторные конструкции. Четырехроторный образец построила фирма «Дженерал моторс» (США) для спортивной модели «Шевроле-Корветт», выпуск которой небольшими сериями планируется начать с 1976 г. В запасе у фирмы есть и двухроторный образец (4,4 л; 180 л. с. при 6000 об/мин). Однако устанавливать эти двигатели будут только по просьбе покупателя. В 1974 г. начат мелкосерийный выпуск французского варианта двухроторного двигателя (1,2 л; 107 л. с.) для спортивной модели «Ситроен-Биротор».

Следует отметить, что эти практически единственные в мире образцы выпущены фирмами, вложившими значительные средства в приобретение лицензий и отработку конструкции и технологии производства. Затраты, естественно, требуют отдачи, но выпуск моделей скорее всего преследует престижные цели. По мнению экспертов, любые роторные двигатели могут стать конкурентоспособными лишь при условии значительного снижения их стоимости и расхода топлива (!). А тут у «ванкелей» дела обстоят как раз неважно.

Но даже при выполнении этих требований для массового выпуска роторных двигателей, например, американской промышленности потребуется не менее 12 лет. Прогнозные данные о перспективах других типов двигателей говорят о том, что этот переход осуществляться не будет. Видимо, по этим причинам такие автогиганты, как фирмы «Форд» и «Крайслер», затратив немалые средства на разработку «ванкелей», полностью свернули эту тематику.

В последние годы в печати появилось много интригующих сообщений о роторном двигателе, разрабатываемом в Австралии изобретателем Ральфом Сарич. Журналисты и, надо полагать, не без помощи автора ухитрились так затуманить сообщения, сравнивая двигатель и с турбинами, и с «ванкелем», и с другими двигателями, что просто необходимо остановиться на его конструкции.

В основу двигателя положен принцип работы колесного насоса, пластины которого разграничивают камеры переменного объема. Построенные образцы двигателя имеют семь рабочих камер (рис. 18, а), причем в каждой установлены свечи зажигания и впускной и выпускной клапаны (рис. 18, б). Ротор выполнен семи-гранным и совершает эксцентричные колебания под воздействием центрального кривошипного вала. Лопатки двигателя П-образные (рис. 18, в). В радиальном направлении они колеблются в пазах корпуса, а ротор относительно лопаток одновременно перемещается по касательной к окружности. Для обеспечения перемещения лопаток и плотного контакта нижней грани лопатки с ротором на их планках установлены ролики, помещенные в специальный паз корпуса.

Средние скорости взаимного перемещения деталей относительно невелики и теоретически обороты двигателя могут достигать 10 тыс. в минуту. Если сравнить этот двигатель с «ванкелем», то максимальный путь, проходимый за один оборот уплотнительным элементом, соответственно составит 685 и 165 мм. Система уплотнений содержит около 40 деталей, что сопоставимо с «ванкелем».

Построенные образцы при 4000 об/мин и весе 64 кг развивают 130—140 л. с. Рабочий объем двигателя 3,5 л, т. е. литровая мощность — на уровне обычных двигателей и составляет около 40 л. с./л. При форсировке этот показатель может быть увеличен примерно вдвое.

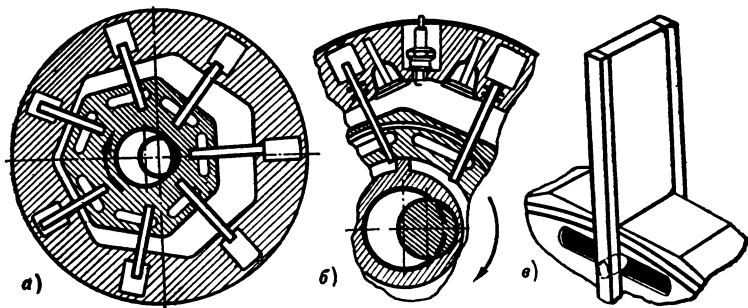


Рис. 18. Схема двигателя Р. Сарича:

а — поперечный разрез; б — такт сжатия в одной из камер; в — лопатка двигателя

К недостаткам двигателя относится очень высокая теплонапряженность, требующая применения гораздо более мощных водяной и масляных систем. При испытаниях выявилось, что наиболее нагруженный и слабый узел — ролики пластин. Поэтому в ближайшем будущем характеристики двигателя вряд ли могут быть существенно улучшены.

В целом схему двигателя признать оригинальной нельзя, так как запатентовано великое множество похожих на нее, отличающихся лишь второстепенными деталями. Поэтому главная заслуга Р. Сарича состоит в том, что он взял на себя труд ее доводки и добился определенных результатов. Какой-либо революции его двигатель не совершит, и, пожалуй, наиболее важно в работе Р. Сарича лишь то, что он привлек внимание инженерной общественности к схемам, построенным на принципе действия коловратных машин.

Есть энтузиасты этой схемы и в нашей стране. Так, житель поселка Сары-Озек Талды-Курганской области Г. И. Дьяков даже построил макетный образец такого двигателя с вращающимся ротором, т. е. по схеме, где условия работы пластин хуже. Испытания двигателя пока не проводились.

Сфероидальные двигатели. В 1971 г. в журнале «Изобретатель и рационализатор» появилась статья о сфероидальном двигателе воронежского изобретателя

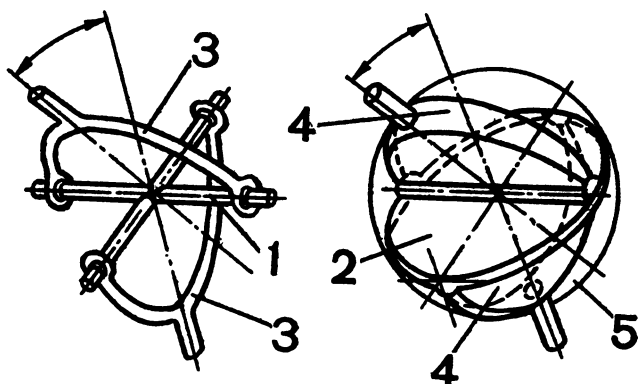


Рис. 19. Схема трансформации шарнира Гука в сфероидальный двигатель:

1 — крестовина; 2 — диафрагма; 3 — вилки; 4 — сегменты;
5 — сферическая оболочка

Г. А. Соколова. В основу двигателя положена способность шарнирного соединения Гука трансформироваться в механизм, имеющий четыре полости, объем которых при вращении изменяется от минимума до максимума. В одной или двух полостях можно организовать цикл ДВС. Пример трансформации показан на рис. 19. Если крестовину 1 шарнира преобразовать в круглую диафрагму 2 с шаровой наружной поверхностью, а вилки 3 шарнира заменить плоскими сегментами 4 и поместить эти три элемента в сферическую оболочку 5, то получится механизм, способный выполнять функции двигателя¹. Для этого в соответствующих местах сферической оболочки необходимо выполнить лишь впускные и выпускные окна и... СШДД готов.

После статьи об этом необычном двигателе пришло более 300 писем. «За» и «против» высказывались профессора, студенты, инженеры, директора предприятий, пенсионеры, механики и др. Десять заводов сообщили, что могли бы выпускать двигатель. Много писем прислали клубы спортсменов-водомоторников. Были предложения об использовании СШДД в качестве гидромотора или насоса для тепловозов, лодочного мотора, пневмодвигателя для ручного инструмента, компрессора, силовой установки экспериментального стенда. Поэтому редакция журнала разослала около 40 приглашений институтам, КБ, заводам и редакциям журналов с предложением собраться за «круглым столом».

На встрече ответственный секретарь редакции привлек внимание собравшихся к двум парадоксам: тому, что ВНИИГПЭ, противопоставив лишь патенты, выданные в прошлом веке, отклонил заявку на изобретение главным образом из-за «отсутствия полезности», и тому, что инженерная общественность не знает о существовании таких двигателей.

До встречи у многих вызвала сомнение работоспособность вилок шарнирного соединения, возможность их смазки, высокая габаритная мощность (за-за невыгодной щелевой формы камеры сгорания и плохого наполнения, обусловленного контактом свежей смеси с раскаленной диафрагмой) и герметичность камер сгорания.

¹ Изобретатель В. А. Когут предложил называть двигатели этого типа сфероидально-шарнирно-диафрагменными двигателями (СШДД).

Демонстрация действующего макета двигателя со сферой диаметром 150 мм, который при давлении подаваемого в него сжатого воздуха 14 кг/см^2 развивал 4500 об/мин, убедительно свидетельствовала о возможности создания работоспособной конструкции такого типа. Диаметр пальца шарнирного соединения двигателя может достигать 60 мм. При таких размерах удельные давления на контактных поверхностях нетрудно снизить до любого желаемого предела. Работоспособность уплотнения диафрагмы макетного образца сомнений у большинства собравшихся не вызвала.

Был также представлен еще один двигатель с диаметром сферы 102,8 мм. Его построил изобретатель А. Г. Заболоцкий, ничего не знавший о работе Г. А. Соколова. В режиме пневмодвигателя его конструкция проработала около 40 ч, развивая до 7000 об/мин. Ни повышенных вибраций, ни износа за это время не обнаружено. А зазоры между сферой и диафрагмой в этой модели были даже слишком малы, так как при «горячих» испытаниях двигатель заклинивало.

В процессе дискуссии о надежности уплотнения СШДД выяснилось, что, например, в двигателях Ванкеля скорости скольжения уплотнительных пластин по сравнению с кольцами обычных поршневых двигателей гораздо выше, а вместе с тем эти двигатели достаточно успешно работают. В СШДД скорости скольжения могут быть даже ниже. Так что для современной промышленности, способной создавать двигатели любой конструкции, проблема надежности уплотнения скорее всего не представляет собой сложности. Надежность уплотнения в значительной степени будет зависеть от точности обработки внутренней поверхности сферической оболочки. Опыт А. Г. Заболоцкого, построившего двигатель в мастерской Верхнедонского плодосовхоза, имеющей только токарный станок, говорит о том, что необходимую точность обработки сферы можно получить даже в полукустарных условиях. Простоту обработки сферы подтвердило и изготовление на Средневолжском станкозаводе другого сфероидального двигателя. Там рабочие применили внутришлифовальный станок с поворотным столом.

Угол между осями шарниров в сфероидальных двигателях достигает $35\text{--}45^\circ$. При этом неравенство угловых скоростей должно было бы привести к появлению

больших знакопеременных инерционных моментов и, как следствие, к огромной вибрации. Обкатка опытных образцов на сжатом воздухе опасных вибраций не выявила. Нагрузки выдержали даже винты МЗ, которыми были стянуты полусферы в двигателе Г. А. Соколова. Не считает опасными большие углы и проживающий в Херсоне В. И. Кузьмин, профессиональная деятельность которого уже 15 лет связана с шарнирами Гука. «Конструкцию двигателя Соколова одобряю», — телеграфировал он «круглому столу».

Отсутствие вибраций в СШДД с большим углом между осями (при углах более 10° шарниры Гука обычно стараются не применять) можно объяснить демпфирующим действием рабочей среды. А поскольку нагрузка приложена только с одной стороны шарнира, неравномерность вращения свободного от нагрузки вала не приводит к появлению значительных инерционных моментов.

Собравшиеся за «круглым столом» пришли к выводу, что достоинства и недостатки СШДД может выявить только экспериментальная проверка. Та же мысль содержится в письме профессора кафедры ДВС МВТУ им. Баумана А. С. Орлина. Он пожелал автору «быстрейшего воплощения его замыслов в металле и испытаний», так как только испытания «позволят разрешить все спорные вопросы». Испытания, а тем более постройка опытных образцов двигателей далеко не простое дело: только доводка обычного двигателя даже в заводских условиях длится 4—5 лет.

На «круглом столе» была представлена подборка патентов по сфероидальным двигателям. Хотя научно-техническая литература не содержит сведений о них, патентные архивы говорят о том, что Г. А. Соколов и А. Г. Зоболоцкий не первыми подметили замечательную способность шарнира Гука трансформироваться в двигатель или насос. Первый похожий английский патент относится к 1879 г., последние — уже к нашему времени. Не обойдена эта схема вниманием и в классификационной таблице всех мыслимых схем роторно-поршневых двигателей, которая приводится в книге Ванкеля о роторных двигателях.

Таким образом, сфероидальным двигателям, выполненным на основе шарнира Гука, просто не повезло.

Не нашлось в истории моторостроения человека, который взял бы на себя труд их доводки.

В настоящее время к этой работе обстоятельно готовится Г. Соколов (Воронежский политехнический институт) и ряд других энтузиастов. Соколовым уточнены фазы газораспределения, отлиты из специального антифрикционного сплава (сплава Баклана) полусферы, проведены многочисленные расчеты, так и не выявившие недопустимых нагрузок.

Вторым центром постройки СШДД стал Херсон «Теоретик карданов», как величали его на встрече за «круглым столом», Виктор Иванович Кузьмин настолько заинтересовался этой необычной схемой, что взялся за постройку. К работе он привлек группу рабочих, студентов, аспирантов. Двигатель изготовлен в металле и теперь дело за испытаниями.

В 1974 г. стало известно об еще одном сфероидальном двигателе. Проживающий в Целинограде молодой

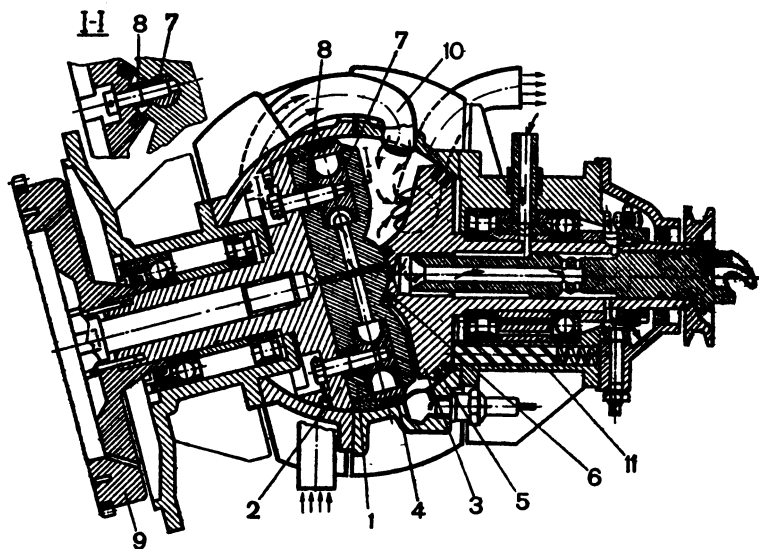


Рис. 20. Двигатель В. А. Когута. Рабочий объем 1600 см³; диаметр сферы 210 мм; число оборотов 2500 об/мин; мощность 65 л. с.; вес 45—65 кг; наклон осей 30°:

1 — диафрагма; 2 и 3 — сегменты; 4 и 5 — уплотнительные кольца; 6 — уплотнительные пластины; 7 — пальцы; 8 — дистанционные втулки; 9 — маховик; 10 — перепускной трубопровод; 11 — теплоотводящие стержни

конструктор по сельскохозяйственным машинам Валерий Альвианович Когут давно обдумывал идею подобного двигателя и, узнав о работе Соколова, построил действующую модель (рис. 20). Двигатель был выполнен без системы охлаждения и при доводке работал по несколько минут до момента перегрева в общей сложности более 2 ч. Следует отметить, что такая продолжительность работы — своеобразный рекорд. Сфероидальные двигатели других авторов работали менее продолжительно.

Двигатель состоит из диафрагмы 1 и двух сегментов 2, 3, шарнирно соединенных с диафрагмой. Валы сегментов вращаются в подшипниковых узлах. Уплотнение сегментов и диафрагмы осуществляется кольцами 4, 5, уплотнение между сегментами и диафрагмой — подпружиненными пластинами 6. В теле диафрагмы размещены четыре пальца 7, к которым с помощью дистанционных втулок 8 привинчены сегменты 2, 3 (см. сечение I—I).

Цикл двигателя двухтактный. В левой половине сферы (со стороны маховика 9) осуществляется предварительное сжатие смеси, поступающей из автомобильного карбюратора. По перепускному трубопроводу 10 смесь направляется в правую половину сферы. В изображенном на рисунке положении в верхней части происходит продувка¹, в нижней начинается рабочий ход.

Смазка и охлаждение правого сегмента 3 и диафрагмы 1 должны осуществляться маслом, подаваемым через правый подшипниковый узел. Кроме этого, с торцевой поверхностью правого сегмента контактируют несколько подпружиненных теплоотводящих стержней 11, по которым тепловой поток «стекает» к оребренному корпусу подшипникового узла. С левой стороны диафрагма охлаждается свежей рабочей смесью.

Испытания двигателя В. Когута, во время которых многие его узлы модернизировались, доказывают принципиальную работоспособность этой схемы. Конструктивно и технологически СШДД существенно проще двигателя Ванкеля. Реальные преимущества станут ясны в ближайшем будущем после испытаний двигателей Соколова, Кузьмина, Когута.

¹ Расположение продувочного и выхлопного окон на рис. 20 показано условно.

За «круглым столом» журнала «Изобретатель и рационализатор» куйбышевский изобретатель В. И. Андреев сообщил о сфероидальном двигателе¹, в разработке рабочих чертежей двух вариантов которого, а также в расчетах и изготовлении литых деталей принимали участие сотрудники ВАЗа. Особенность двигателя (рис. 21) в том, что он состоит из двух роторов, наружного 1 и внутреннего 3, вращающихся в одном направлении. Оси роторов наклонены, их сопряжение осуществляется по сфере. В центре сферы разместились диафрагма — поршень 2, разделяющая рабочий объем на четыре самостоятельных камеры сгорания.

Прокрутите мысленно роторы хотя бы на один оборот, и объем около верхней свечи плавно увеличится до максимума, что может соответствовать рабочему хо-

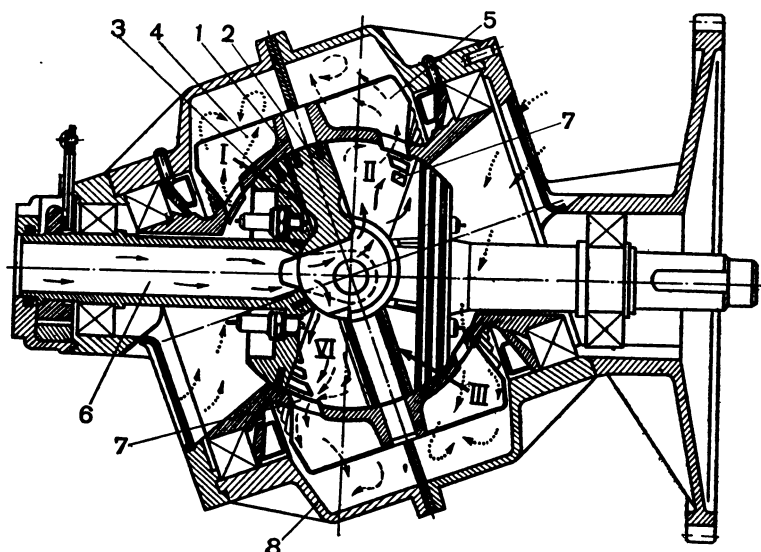


Рис. 21. Сфероидальный двигатель В. И. Андреева и Л. Я. Ушеренко:

1 — наружный ротор со сферической внутренней поверхностью; 2 — диафрагма; 3 — внутренний ротор, включающий диафрагму и два вала с фигурными фланцами; 4 — нагнетатель; 5 — турбина; 6 — полый вал; 7 — выхлопные окна; 8 — корпус-улитка; сплошная стрелка — рабочая смесь, точечная стрелка — чистый воздух, пунктирная стрелка — выхлопные газы

¹ Авторы конструкции В. И. Андреев и Л. Я. Ушеренко. Андреев также соавтор по двигателю внешнего сгорания, описанному на с. 43—45.

ду или перепуску (цикл двигателя двухтактный), а затем снова сведется к минимуму, т. е. произойдет выхлоп или сжатие. Предварительное сжатие воздуха осуществляется центробежным нагнетателем 4.

Из нагнетателя воздух следует в карбюратор и далее через полый вал 6 в камеру сгорания. Выхлоп происходит через окна 7 во внешнем роторе, а энергия выхлопных газов реализуется на турбине 5. Наружный ротор вращается в двухрожковой улитке 8. Поэтому лопатки попеременно выполняют функции нагнетателя и турбины. Выхлоп происходит в один рожек (на рисунке не показано), другой используется для нагнетателя. Из-за этого холостые обороты двигателя сравнительно высоки — не менее 1500 об/мин.

При двухтактном цикле работы в диаметрально противоположных камерах одновременно происходят одинаковые процессы. На рис. 21 изображен момент, когда в *I* и *III* камерах начинается рабочий ход, а во *II* и *IV* камерах идет продувка (сплошные линии стрелок — рабочая смесь, пунктирные — продукты сгорания).

Если смотреть на двигатель справа, то при вращении ротора против часовой стрелки в *I* и *III* камерах произойдет расширение (рабочий ход) 110° по углу поворота, затем откроются выхлопные окна и еще через 8° — впускные. После поворота на 180° объем *I* и *III* камер будет равен объему при начальном положении камер *II* и *IV*, что соответствует середине продувки. При угле поворота 240° закроются выхлопные окна, а еще через 8° — впускные. С этого момента начнется такт сжатия (цикл несимметричный). При рабочем такте ребра внешнего ротора омываются чистым воздухом (стрелки из точек), охлаждающим ротор, а затем этот воздух используется для наддува. При выхлопе ребра работают как лопатки турбины.

Расчетная мощность двигателя — 45 л. с. При первом знакомстве с ним поражают непропорционально большие размеры карбюратора. Но оказывается, что карбюратор даже меньше обычных мотоциклетных, а невелик сам двигатель. Еще больше удивляешься, когда узнаешь, что рабочие чертежи всех без исключения деталей уместились в тонюсенькой папке. Она убедительно говорит о простоте конструкции, минимальном количестве деталей. А после ознакомления со сравнительными характеристиками, подтвержденными многочис-

ленными расчетами — не поверить в будущее этой конструкции просто невозможно. Судите сами.

Оба ротора вращаются в одну сторону. Тем самым резко снижаются скорости взаимного перемещения деталей, и обычные кольца прекрасно выполняют свои функции.

Именно из-за высоких скоростей уплотнений Ванкелю пришлось понизить число оборотов двигателей с 10—12 тыс. до обычных 6 тыс. об/мин. Авторам сфероидального двигателя даже не потребовалось гнаться за высокими оборотами. Уже и при 4—5 тыс. об/мин их двигатель превосходит «ванкелей». Достаточно сказать, что у этого двигателя более высокая литровая мощность — 97 л. с./л при 4000 об/мин, в 2—3 раза более высокий крутящий момент (25 кгм!), а удельный вес — 0,5 кг/л. с. соперничает с авиационными двигателями. И все это относится к опытному образцу! Благодаря тому что роторы симметричны относительно осей вращения, двигатель идеально уравновешен. Тому же способствует и протекание в диаметрально противоположных камерах одинаковых процессов. Расчетная неравномерность работы мотора равна $2^{\circ}16'$, что гораздо ниже, чем у «ванкеля» или поршневого ДВС. Симметричность процессов, кроме того, обуславливает работу диафрагмы как бы во взвешенном состоянии, резко снижая нагрузки на трущиеся пары.

Если сравнить нагрузку на пальцы диафрагмы с нагрузкой поршневого пальца и нагрузку на подшипники внешнего ротора с нагрузкой на шатунные шейки обычного ДВС такой же мощности, то они окажутся в 2 раза меньше. Наполовину снижено в сфероидальном двигателе и усилие, приходящееся на подшипники внутреннего ротора (сравнение проведено с коренной шейкой двухцилиндрового поршневого ДВС).

Сокращение числа трущихся пар и малая величина нагрузок приводят к небывало высокому механическому КПД. По расчетам он может достигать 92%! Ни один двигатель, за исключением двигателей с механизмом С. Баландина, не имеет КПД, даже близкого к этой величине.

Двигатель В. И. Андреева интересен еще и тем, что лопатки на внешнем роторе выполняют функции компрессора наддува и вентилятора охлаждения, а также глушителя (изменение скорости и объема газов) и тур-

бины. В обычных двигателях в глушителе бесполезно рассеивается от 5 до 15% мощности. Здесь минимум 5% турбина возвращает обратно. Идея использования выхлопных газов не нова. Но ее реализация сложна: добавляются турбина, компрессор, газопроводы (рис. 22). В двигателе В. И. Андреева и Л. Я. Ушеренко для этого не требуется ни одной лишней детали.

Действие турбины уже проверено при несколько необычных обстоятельствах. Для холодной обкатки с помощью электромотора двигатель был установлен на стенде в инструментальном цехе Средневолжского станкозавода, где производились изготовление его деталей и сборка. Вращение продолжалось 6 ч. Ни вибрации, ни нагрева двигателя, ни задиrow трущихся элементов обкатка не выявила.

Однако при «горячих» испытаниях случился казус. Из нагнетательного патрубка турбины вырывался сноп пламени как из сопла реактивного самолета, а ожидаемой мощности двигатель не дал. Когда его разобрали, камеры сгорания оказались абсолютно чистыми. При-

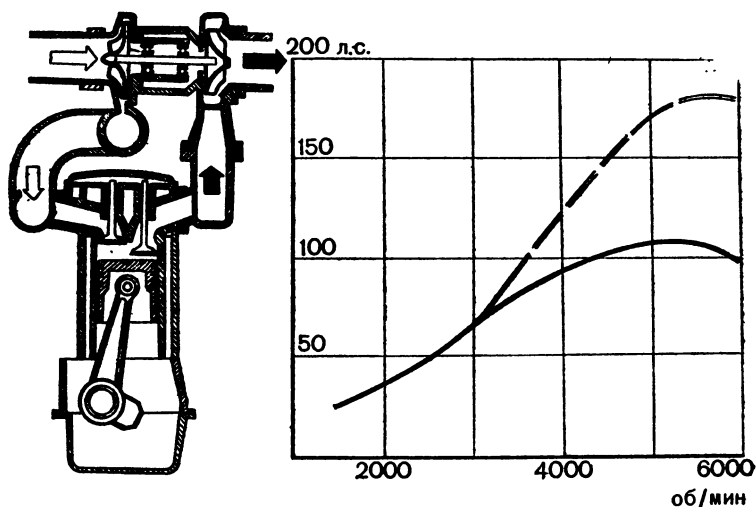


Рис. 22. Схема автомобильного двигателя (слева) с турбоагнетателем, компрессор которого начинает эффективно работать при 3500 об/мин. На максимальных оборотах мощность (пунктирная кривая на рисунке справа) возрастает на 70%. Стоимость такого турбоагнетателя составляет около 30% стоимости двигателя

чина — головки свечей расположены слишком близко к корпусу и искра проскакивала, но не там, где надо. Так что первые испытания косвенно подтвердили лишь работоспособность турбины. Реконструкцию системы зажигания и все хлопоты по доводке взял на себя механик В. А. Артемьев.

* * *

Разработка двигателя ближайших десятилетий — сложная и многогранная проблема. Осветить ее полностью в пределах небольшой брошюры невозможно. Потребовалось бы рассказать о попытках усовершенствования рабочего процесса обычных ДВС, о способах нейтрализации выхлопных газов, об обеспечении равнопрочности узлов двигателя, устранении необходимости в техническом обслуживании, приспособлении конструкции к диагностированию. Каждая из этих проблем заслуживает отдельного подробного рассказа.

Задача настоящей брошюры — помочь читателю ориентироваться в потоке информации по затронутому вопросу и привлечь его внимание к конструкциям изобретателей, которые обязательно займут свое место в семье наипервейших помощников человека — двигателей.

==

Кирилл Юрьевич Чириков

НЕОБЫЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Редактор М. С. Зубкова. Обложка А. Г. Шиманца. Худож. редактор В. Н. Конюхов. Техн. редактор Т. В. Самсонова. Корректор О. Ю. Мигун.

А 02267. Индекс заказа 65406. Сдано в набор 26/III 1976 г. Подписано к печати 27/IV 1976 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл.-печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,23. Тираж 34 520 экз. Издательство «Знание». 101835. Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 561. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 11 коп.

