# УДК 621.43

*Федоров Ю.М.*

*Главный специалист*

*НПП «Норд-инжиниринг»*

*Fedorov Y.M.*

*Chief specialist*

*NPP “Nord-inginееring”*

# *Двигатель внутреннего сгорания. Проблемы и решения*

# *The internal combustion engine. Problems and solutions*

# *Аннотация. В статье представлен общий подход к решению проблем современного автомобильного двигателя внутреннего сгорания, с конкретным примером его реализации.*

*Ключевые слова: двигатель роторно-поршневой, конструкция, секции, индикаторная диаграмма, эффективность.*

Abstract. The article presents a general approach to solving the problems of the modern automotive internal combustion engine with a specific example of its implementation.

*Key words:* rotor- plunger *engine, design, partitions, display diagram, effectiveness.*

### Содержание

# Автомобилестроение, проблемы и их решения

# Резервы двигателя внутреннего сгорания и пути их использования

1. Низкооборотный роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания
   1. Конструирование с поэтапным решением проблем
   2. Термодинамика роторно-поршневого двигателя
   3. Экспертная оценка эффективности двигателя, установленного на автомобиле
   4. Заключение

# Автомобилестроение, проблемы и их решения

Автомобили с тепловыми двигателями и автомобили с электрическими двигателями используют один и тот же источник потенциальной энергии, а именно - углеводороды. Кто-то может возразить по этому поводу, что существуют другие, альтернативные, источники электроэнергии, в том числе возобновляемые. С этим можно согласиться, но только отчасти. Наблюдающийся во всем мире рост промышленного и бытового потребления электроэнергии в последнее время покрывается, в основном, за счет сжигания на тепловых электростанциях углеводородов: угля, мазута и, в большей части, природного газа. В число этих потребителей электроэнергии также попадает быстро растущий автопарк электрокар. Тенденция роста потребления углеводородов будет продолжаться до тех пор, пока не откроют какие-либо новые источники доступной и дешевой электроэнергии, при этом огромная нагрузка на энергосистему в будущем может исходить от переориентации автопрома на электрическую тягу.

До последнего времени электрокары, как не загрязняющие атмосферу транспортные средства, использовались, в основном, в закрытых помещениях. Сейчас во многих, наиболее развитых, странах эту тенденцию «чистого воздуха» распространяют административными мерами и всевозможными преференциями, на городскую атмосферную среду, вытесняя с улиц городов автомобили с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), отдавая предпочтение более дорогим и, как показывает практика, не очень удобным в эксплуатации электрокарам. Причиной тому является не столько экологическая безопасность электрокаров (там есть свои экологические проблемы), сколько токсичность автомобилей с ДВС. Современные автомобили с ДВС очень «прожорливы» и имеют низкий коэффициент полезного действия (КПД), что также является одной из причин, вынуждающих искать решение этих проблем на пути использования электрокар.

В результате автомобильная отрасль поставлена перед выбором: двигатель внутреннего сгорания или электродвигатель, или и то и другое вместе. Эти направления используются уже около 150 лет, причем автомобили с тепловыми двигателями нашли широкое применение с момента их создания, а электрокары до сих пор применяются в качестве транспортных средств очень мало. С момента создания автомобильных двигателей внутреннего сгорания их конструкция практически не изменилась, притом, как электрокары в последнее время получили серьезное развитие. Создается впечатление, что ДВС достигли предела своего развития и находятся в стадии ожидания их замены на двигатели, работающие на совершенно других физических принципах. Возможно, что это не так. Тогда возникает естественный вопрос, где находится тот «камень преткновения», который ДВС до сих пор не смог преодолеть? Чтобы ответить на этот вопрос необходимо выявить те «закрома» скрытых резервов, которые недоступны современному автомобильному ДВС.

# Резервы двигателя внутреннего сгорания и пути их использования

Снижение КПД двигателя в значительной степени обусловлено большими контактными напряжениями в кривошипно-шатунном механизме при преобразовании возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение рабочего вала. До 40% от этих потерь приходится на обеспечение максимального сгорания топлива в цилиндрах, т.е. на всасывание топлива, на его сжатие и на последующее непроизводительное повышение давления и температуры в камерах расширения (в цилиндрах) во время основного рабочего цикла. Эти потери могут быть полностью исключены, если обеспечить полное сгорание топлива без предварительного его сжатия в цилиндрах и при использовании такой кинематической схемы, в которой отсутствуют большие контактные напряжения между взаимодействующими элементами механизма.

По факту известно, что автомобили, оснащенные мощными двигателями, расходуют больше топлива, по сравнению с автомобилями меньшей мощности. Так как установленная на автомобиле мощность обычно используется только на (40÷60)%, то на этом можно экономить топливо, если отключить от рабочего вала двигателя не используемую часть установленной мощности.

Также известно, что в оптимальном режиме работы КПД бензинового ДВС не превышает 40%, а по факту – 25%. Получается, что недоиспользованный, по этой причине, резерв ДВС составляет около 50%. Чтобы максимально задействовать этот резерв двигатель по мере его загруженности должен оперативно переключаться в оптимальный режим работы.

Потери КПД двигателя от несгоревшего топлива составляют около 20%. Единственный путь снижения этих потерь лежит в совершенствовании существующей или в создании новой, более эффективной системы сгорания топливного заряда.

С выхлопом в атмосферу отработанных газов потеря КПД двигателя составляет около 20%. Причиной столь больших потерь является недоиспользованный двигателем энергетический потенциал сгоревшего в цилиндрах топлива и потери, обусловленные использованием клапанной системы газоотведения. Решение этой проблемы, очевидно, лежит в использовании более эффективной системы газоотведения.

Список менее значительных резервов ДВС можно было бы продолжить. Особняком от эксплуатационных параметров ДВС стоит эффективность производства самого двигателя и автомобилестроения в целом. Современный ДВС сам по себе является очень сложной конструкцией, которая «обросла» другими, производными от ДВС дорогими конструкциями: коробкой передач, радиаторами, глушителями и др. К этому числу также можно добавить усиленную шумоизоляцию салона автомобиля, усиленную систему вибропоглощения и т.д. Поэтому при решении эксплуатационных задач параллельно должны решаться вопросы связанные облегчением самого автомобиля и, в конечном итоге, снижения его стоимости.

Каждый двигатель индивидуален. Поэтому для его изготовления создаются отдельные производственные линии с адаптированными под него технологиями. В результате производственные мощности автопрома «распыляются», стоимость продукции возрастает. С целью повышения эффективности производства «линейку» производимых ДВС можно существенно сократить, если использовать в двигателестроении блочный принцип формирования мощности (по принципу формирования памяти в мощных компьютерах).

1. Низкооборотный роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания
   1. Конструирование с поэтапным решением проблем

Как будто бы, все вышесказанное известно и понятно, но почему-то ни одна из представленных проблем не решается или решается плохо. А все дело в том, что в рамках существующей концепции двигателестроения решить их невозможно. Значит надо её менять, т.е. начать все сначала. И начинать надо с простых, очевидных, решений, переосмысливая их с позиции использования современных материалов и технологий.

Ниже, на стадии схемы, представлена для обсуждения абсолютно новая концепция двигателестроения, в основу которой положен роторно-поршневой двигатель с качающимися затворами. Именно этот подход позволил решить все обозначенные проблемы, а также дополнительные проблемы, привнесенные в двигатель качающимися затворами. Общий вид 3-х секционного двигателя внутреннего сгорания показан на рис. 1.

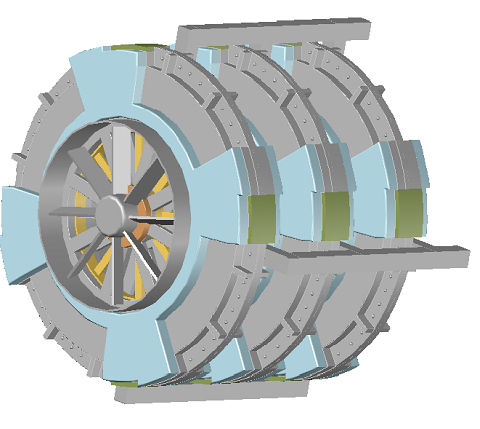


Рис.1. Общий вид 3-х секционного двигателя

В роторно-поршневом двигателе внутреннего сгорания (РПД) использованы основополагающие технические решения традиционного ДВС (поршни с поршневыми кольцами) и роторного двигателя (непосредственное вращение рабочего вала, т.е. без преобразования возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение вала). Примененная в РПД двухкамерная система обеспечивает полное сгорание топлива без предварительного его сжатия. В двигателе использован модульный принцип его комплектации с автономным включением-отключением каждой в отдельности модульной секции и автономным включением-отключением термодинамических процессов, совершающихся в камерах расширения каждой модуль-секции.Общий вид секции представлен на рис. 2.

РПД состоит, как правило, из абсолютно одинаковых секций, в каждой из которых за один оборот может совершаться от одного до 8 термодинамических циклов, а в 3-х секционном двигателе до 24-х, соответственно. Он, как никакой другой из всех известных двигателей, обладает большим регулируемым крутящим моментом и большой регулируемой мощностьюпри работе на малых оборотах(до 600÷800 об/мин), в связи с чем, необходимость использования коробки передач в большинстве

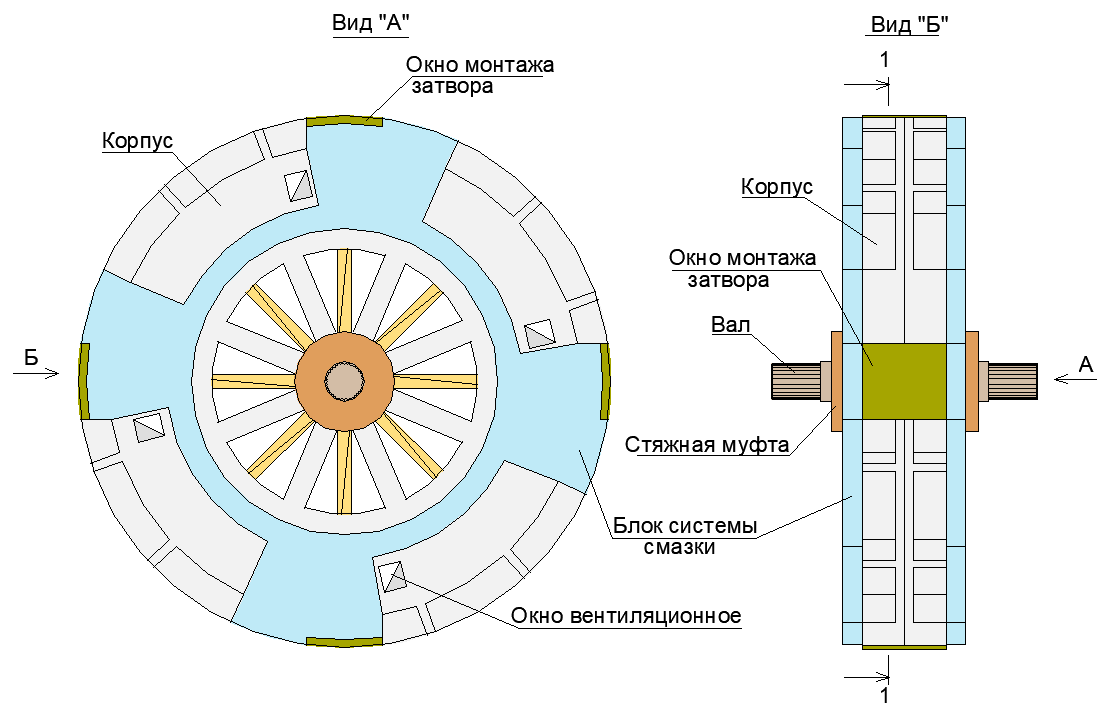


Рис. 2. Общий вид секции двигателя

случаев отпадает (достаточно установить простейший редуктор включения заднего хода автомобиля). Двигатель имеет активное воздушное охлаждение, совмещенное с газоотводящей системой, и не нуждается в дополнительной жидкостной системе охлаждения с применением радиаторов и т.п., а вопрос смазки взаимодействующих силовых и др. элементов двигателя решен в нем достаточно просто и эффективно. Связано это, в первую очередь, с тем, что в двигателе отсутствуют трущиеся элементы, между которыми возникают большие контактные напряжения, и с тем, что смазка всех взаимодействующих элементов осуществляется в отсеке кольцевой камеры, в котором через вентиляционное окно постоянно поддерживается давление близкое к атмосферному давлению (рис. 3, рис. 4, рис. 5).

В двигателе отсутствует боковое давление поршней на стенку кольцевой камеры, что способствует повышению его эксплуатационного ресурса и др. Из-за отсутствия предварительного сжатия топлива термодинамические процессы

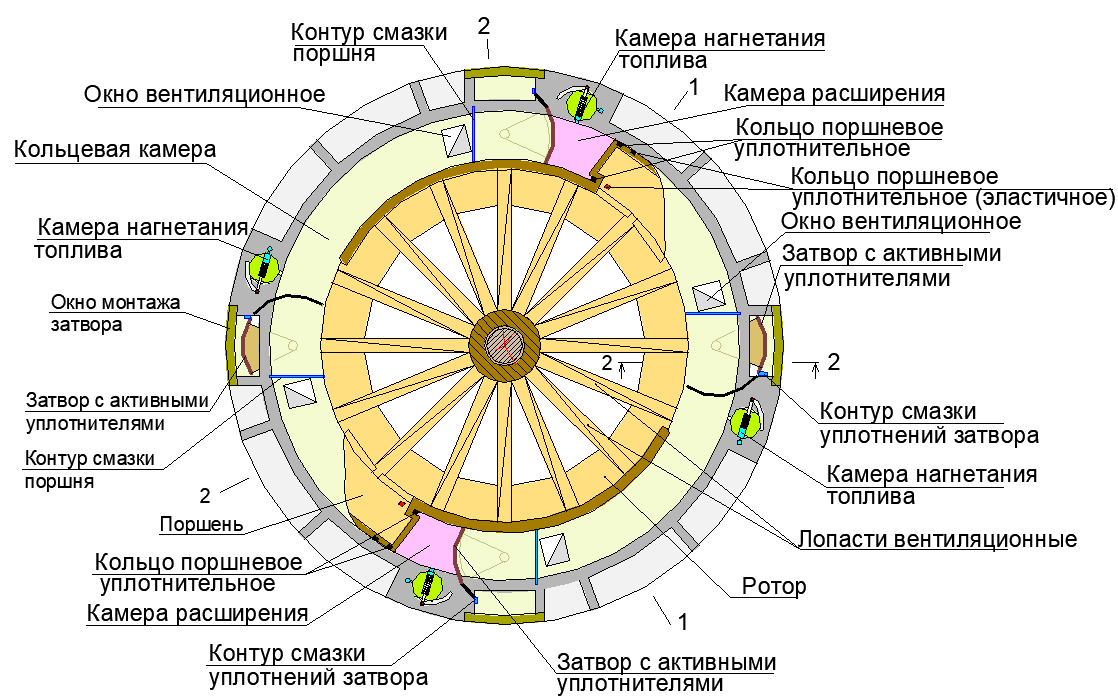


Рис. 3. Разрез 1-1

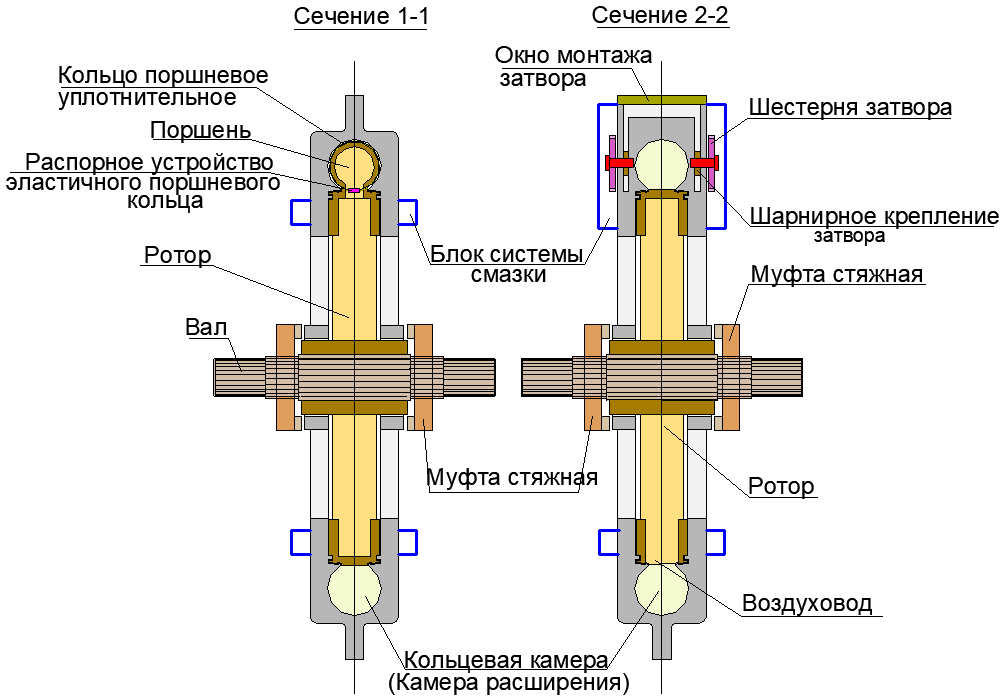


Рис. 4. Сечения 1-1 и 2-2

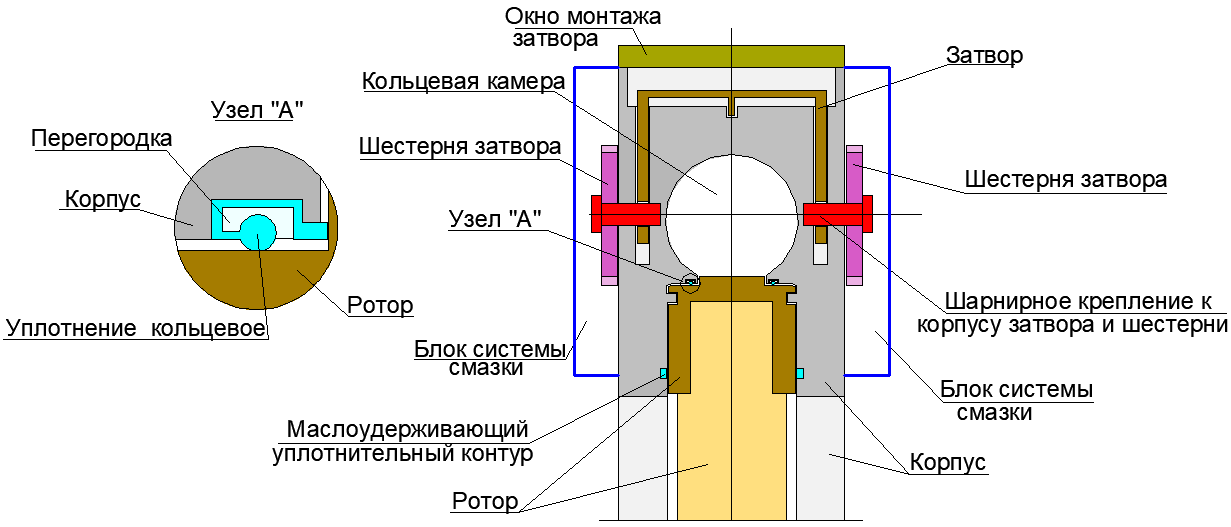


Рис. 5. Разрез 2-2

в камере расширения РПД проходят при относительно низком рабочем давлении и температуре. Вращающиеся главные (рабочие) валы смежных секций двигателя соединяются между собой муфтами, что позволяет в одном двигателе использовать разнотипные секции и всевозможные комбинации из них.

Двигатель легко унифицируется. Такпроизводство всего 4-х типовых секций максимальной мощностью 20, 40, 80 и 160 л.с. , соответственно, позволяет комплектовать любой комбинационный двигатель мощностью от 20 л.с. до 1000 л.с., причем в состав двигателя состоящего из секций мощностью по 160 л.с. может входить, например, дополнительная секция «холостого хода» мощностью 20 л.с.

Камера нагнетания (рис.6), используемая для дозированной подачи топлива, расположена во вращающемся цилиндре и оснащена поршнем (пустотелым плунжером), с помощью которого осуществляется забор топлива и последующее его сжатие. Вращающийся цилиндр с камерой нагнетания топлива и подводящая к ней топливная система могут быть размещены в отдельном монтажном блоке и оснащены системой, позволяющей регулировать степень сжатия топлива (рис 7).

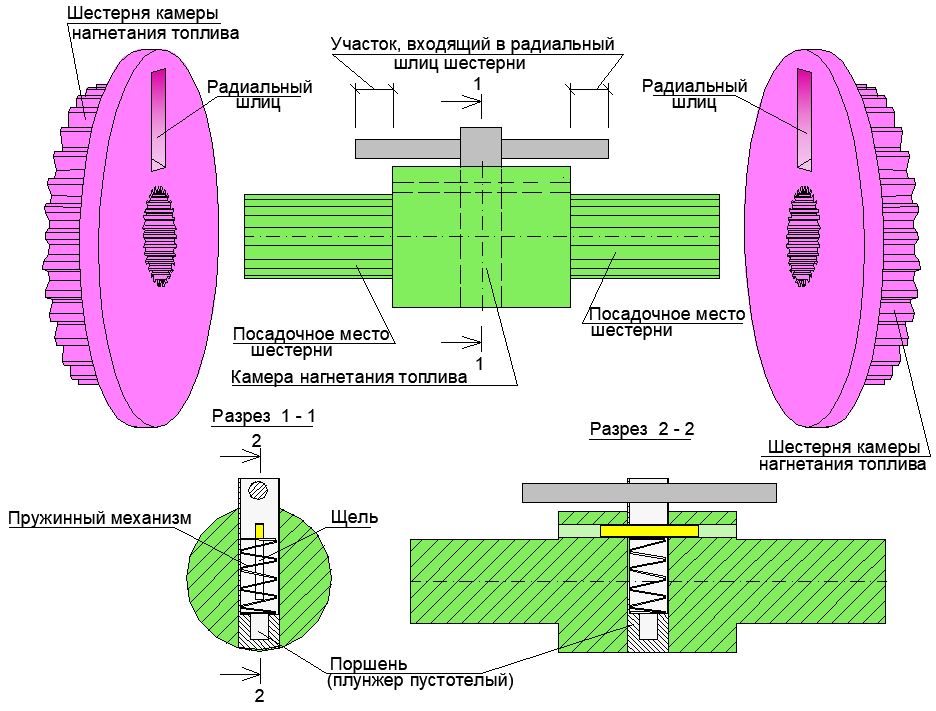


Рис. 6. Вращающийся цилиндр камеры нагнетания топлива

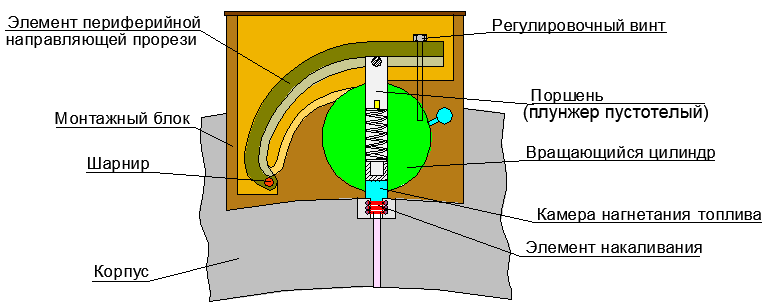


Рис. 7. Фрагмент монтажного блока

Заправка камеры нагнетания топливом (свежим зарядом) производится в строго фиксированном положении вращающегося цилиндра. Для этого используется топливная система, оснащенная запорным клапаном (клапан на рисунках не показан).

Система зажигания выполнена в виде расположенного между камерой нагнетания и камерой расширения электрического высокотемпературного элемента накаливания (рис. 3, рис. 7), проходя через который мгновенно расширяющееся на распылителе (на рисунках не показано) топливо сгорает практически полностью. В последствие, в работающем двигателе, высокая температура элемента накаливания поддерживается «в основном» за счет горения топлива.

Система зажигания также может быть дополнена разрядным высоковольтным элементом типа «свеча», который ускоряет запуск термодинамических процессов на начальном этапе работы двигателя.

В двигателе предусмотрена воздушная система охлаждения, включающая вентиляционные окна, встроенные в ротор вентиляционные лопасти и воздуховоды в периферийной цилиндрической поверхности ротора (рис. 3). Воздуховоды могут быть выполнены в виде сплошной прорези, как показано на рис.3 и 4, или в виде системы небольших отверстий. Дополнительно к этому предполагается установка автономного вентилятора (рис. 1), который может работать как на нагнетание воздуха, так и в обратную сторону, т.е. на его отсасывание, что допускает использование данного воздушного охлаждения при работе двигателя на разных видах топлива, включая природный газ.

Вентиляционные окна могут быть выполнены в виде перфорации в стенке кольцевой камеры или в виде жесткой решетки, имитирующей внутреннюю поверхность кольцевой камеры (рис.3).

Для смазки всех взаимодействующих элементов двигателя на внешних боковых поверхностях корпуса (на щеках) размещены блоки системы смазки (рис.2÷5), в которых во время работы двигателя создается переменное (плюс-минус) избыточное давление. Внутри корпуса, на участках между вентиляционными окнами и затворами, т.е. в безнапорной части кольцевой камеры (рис.3), расположены смазочные контуры, обеспечивающие смазку поршней и боковых поверхностей ротора. Для смазки уплотнений затвора (рис. 8), контактирующих с корпусом и цилиндрической поверхностью ротора, смазочные контуры размещены в нише затвора (рис.3).

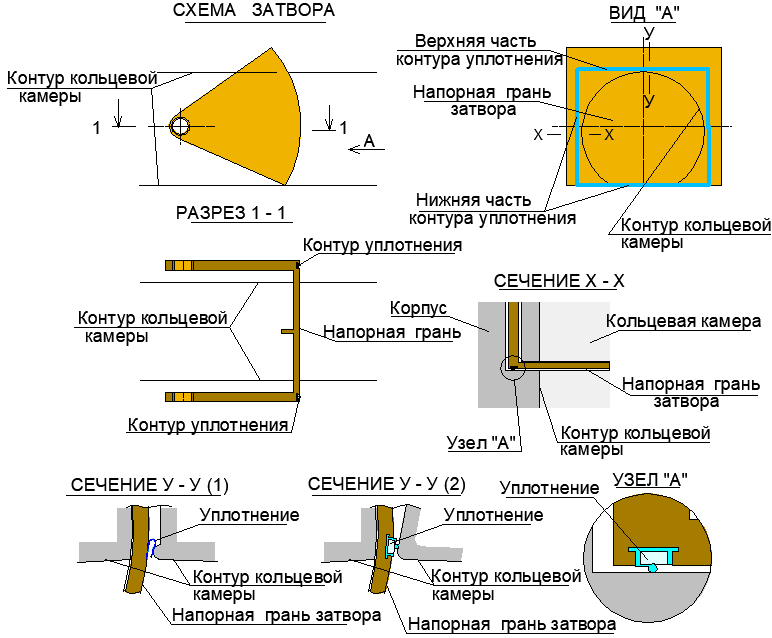


Рис. 8. Затвор. Схема уплотнений

Герметичность уплотняемого контура затвора также достигаться за счет эксцентричной установки затвора по отношению к шестерне затвора и к шарнирным опорам на корпус (рис. 5).

Поршни ротора (рис.3, рис. 4) оснащены металлическими уплотнительными кольцам, установленными на консольной части поршней, и эластичнымисмазочнымиуплотнительными кольцами, которыеснабжены распорными устройствами.

Механизм управления состоит из шестерен (рис. 9), размещенных в блоке системы смазки.

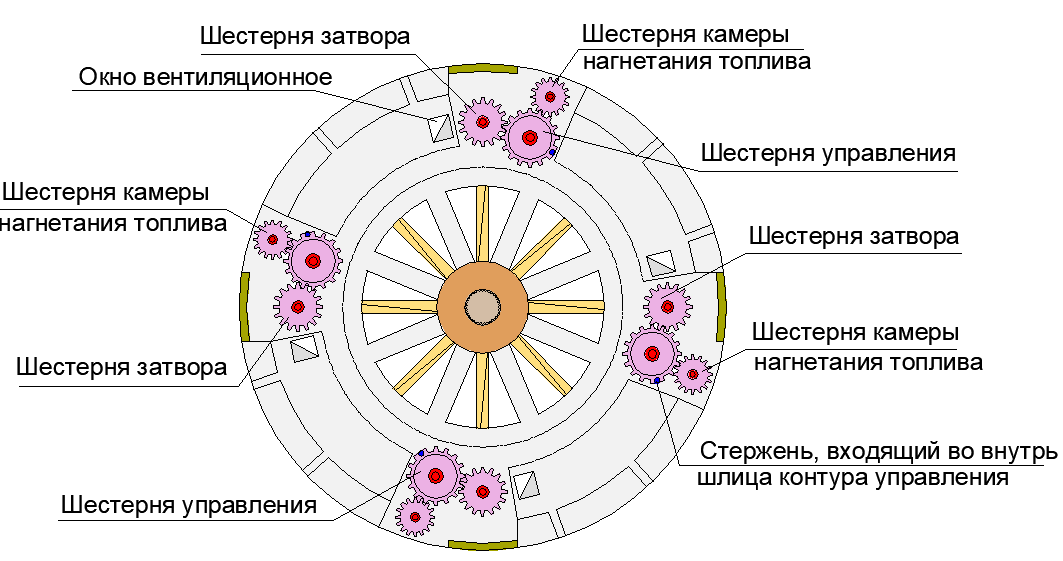


Рис. 9. Вид на механизм управления

Все процессы, совершающиеся в секции двигателя, жестко синхронизированы между собой через выполненные в боковых поверхностях ротора контуры управления (рис. 10).

Перевод затвора и камеры нагнетания топлива из рабочего положения в нерабочее положение и наоборот, из нерабочего положения в рабочее положение, обеспечивается пружинным механизмом, который направляет стержень шестерни управления (рис. 9), входящий через прорезь в щеке корпуса во внутрь шлица контура управления, соответственно по рабочему или нерабочему «маршруту» контура управления (рис.10).

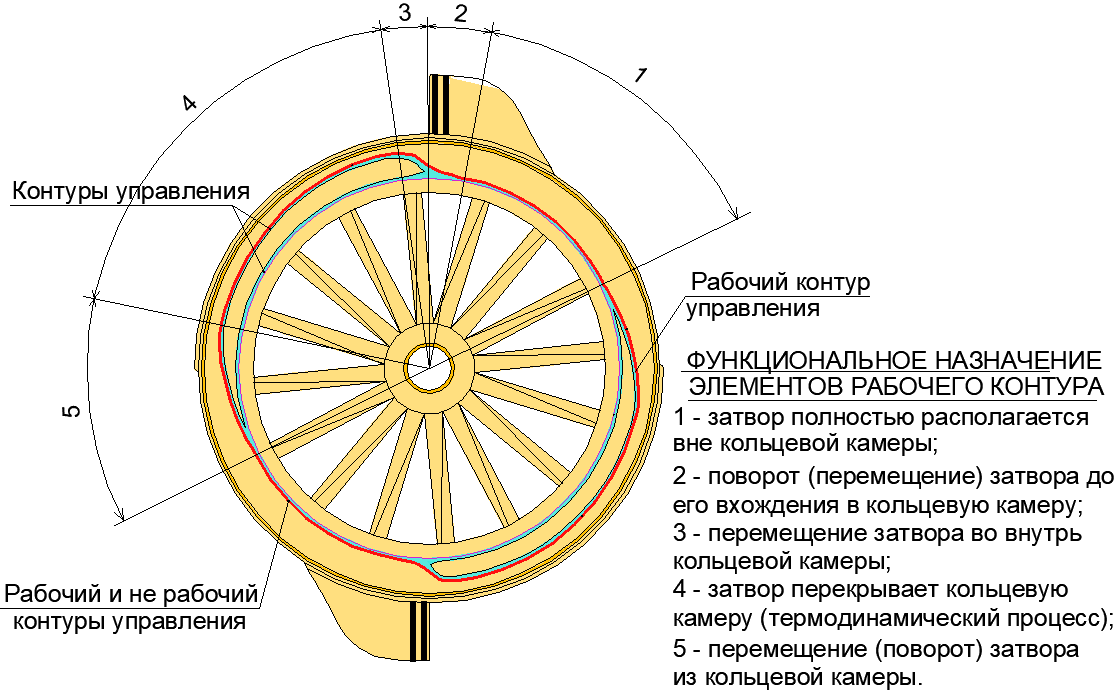


Рис. 10. Элементы рабочего контура управления

Условная схема простейшего устройства пружинного механизма, управляющего работой двигателя, представлена ниже, на рис.11.

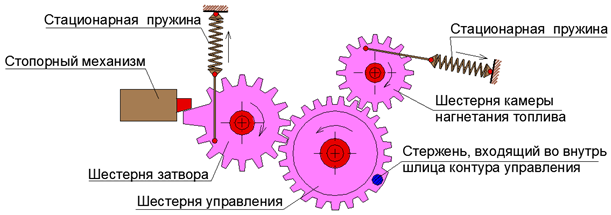


Рис. 11. Условная схема простейшего устройства пружинного механизма

Пружинный механизм включает в себя стопорный механизм и стационарные пружины, которые сообщают крутящие моменты соответственно шестерне затвора и шестерне камеры нагнетания топлива. Аналогичная стационарная пружина может быть закреплена на шестерне управления. Крутящие моменты от всех стационарных пружин плотно прижимают стержень шестерни управления к внешней грани шлица контура управления, т.е. направляют его и удерживают внутри рабочего контура управления (рис. 10), обеспечивая, тем самым, термодинамический процесс*.*

Стопорный механизм может останавливать рабочий термодинамический процесс только тогда, когда стержень шестерни управления оказывается на участке 1 контура управления (см. рис. 10), т.е. на том участке, где рабочий и нерабочий контуры управления совмещены.

На основании анализа элементов рабочего контура управления (рис.10) можно сделать следующие выводы:

* Движения затвора плавные, т.е. без резких толчков и рывков, с ускорением и замедлением.
* Расстояние между затвором и впуском в камеру расширения продуктов горения топлива (т.е. балластная часть камеры расширения) характеризуется участком 3 рабочего контура управления. С увеличением балластной части камеры расширения (участка 3 контура управления, соответственно) снижается рабочее давление внутри камеры расширения, также снижаются мощность двигателя и скорость вращения ротора.
* При завершении термодинамического процесса (конец участка 4, предшествующий участку 5) внутри камеры расширения устанавливается давление равное или чуть ниже атмосферного давления, т.е. устанавливается давление, соответствующее давлению на начало термодинамического процесса (конец участка 3, предшествующий участку 4). В этом случае термическое расширение сгораемого топлива, т.е. основная часть потенциальной энергии топлива, практически полностью расходуется на совершение работы. Из этого следует, что величина участка 3, а также расстояние между затвором и впуском в камеру расширения продуктов горения, при вышеназванных условиях практически не влияют на снижение КПДдвигателя, что также является доказательством работоспособности и эффективности низкооборотного РПД с принятыми в нем качающимися затворами.
* В зависимости от соотношения объемов камер нагнетания топлива и камер расширения на «выхлопе газов» может устанавливаться любое давление, вплоть до отрицательного (используемая система газоотведения такое позволяет).

При соединении ротора с рабочем валом через промежуточные соединительные шестерни (рис.12), наружные шлицы которых входят в зацепление с ротором, а внутренние шлицы входят, соответственно, в зацепление с валом, появляется уникальная возможность полного отключения отдельных секций от работающего двигателя (будь то с целью экономии топлива или по техническим причинам, например, в связи с какой-либо неисправностью). Для этого соединительные шестерни перемещаются вдоль рабочего вала и выводятся из зоны зацепления с ротором. Соединительные шестерни оснащены фрикционной муфтой с пружинным и рычажным механизмами (рычажный механизм на рис.12 не показан), в результате чего включение-отключение секций может выполняться во время движения автомобиля. Переключение секции из рабочего положения в нерабочее положение (и наоборот) производится при отсутствии термодинамических процессов в данной секции.

Представленный принцип соединения ротора с валом позволяет в одном двигателе использовать секции с разнонаправленными крутящими моментами, которые включаются поочередно, т.е. не одновременно. По аналогичной схеме на рабочий вал могут быть «нанизаны» электродвигатель и генератор электроэнергии (с некоторой их доработкой), в результате чего автомобильный двигатель превращается в гибридный.

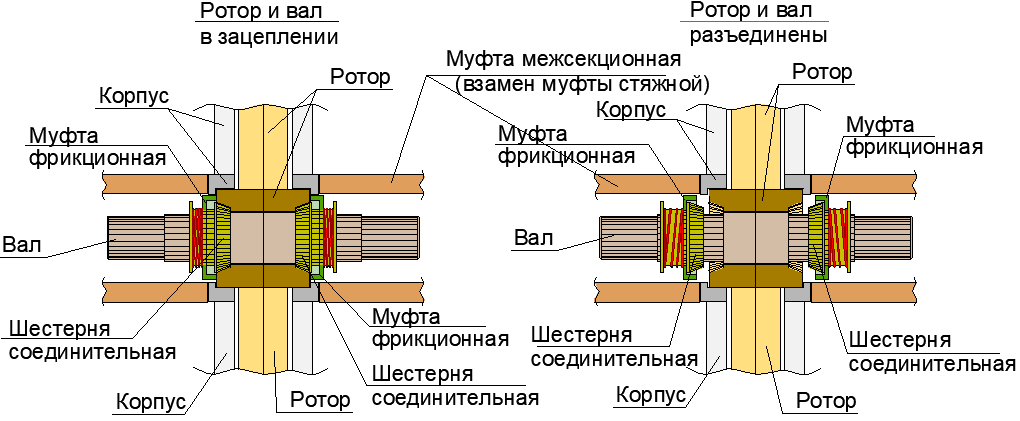


Рис. 12. Схема соединения вала с ротором

* 1. Термодинамика роторно-поршневого двигателя

Анализ термодинамических процессов РПД проводится в сопоставлении с соответствующими процессами, происходящими в традиционном ДВС.

Во всех современных ДВС заряд топлива поступает непосредственно в камеру расширения (сгорания топлива), где сначала расширяется, тем самым охлаждая стенки камеры, а затем подвергается интенсивному сжатию, что также увеличивает механические теплопотери на ~(70÷80)%, т.е. около двух раз. Воспламеняется топливо от разряда высоковольтного источника электрического тока, после чего начинается термодинамический процесс. Схематичное изображение индикаторной диаграммы четырехтактного поршневого ДВС представлено на рис.13.

В РПД вместо интенсивного сжатия топлива в цилиндрах для его полного сгорания используется дополнительная камера, камера нагнетания топлива, с системой зажигания в виде высокотемпературного элемента накаливания (рис. 3, рис. 7).

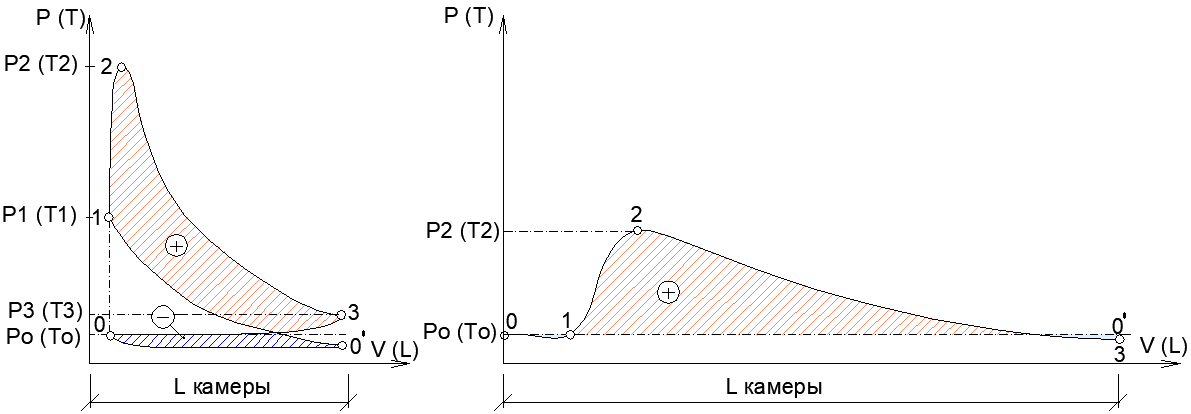


Рис. 13. Рис. 14.

В этом случае в камеру расширения поступает не охлаждающее топливо, как в традиционном ДВС, а продукты от его горения, т.е. термодинамический процесс начинается с момента впрыска топлива.

Принципиальная схема индикаторной диаграммы РПД представлена на рис.14. Для большей наглядности процессов термодинамических циклов традиционного ДВС и РПД их индикаторные диаграммы выполнены в сопоставимом масштабе. Так как давление «Р» и температура «Т» в камерах расширения взаимосвязаны, то на шкале диаграмм они условно совмещены. Таким же образом совмещены объемы «V» и протяженность «L» камер расширения.

На диаграмме рис.13: «0-0**΄**» - всасывание топлива; «0**΄**- 1» - сжатие топлива; «1-2» - горение топлива при поршне в верхней мертвой точке; «2-3» – расширение продуктов горения, перемещение поршня в нижнюю мертвую точку; «3-0» - отвод газов горения из цилиндра. На диаграмме рис.14: «0-1» - перемещение поршня на участке между затвором и камерой нагнетания топлива, до момента полного перекрытия затвором кольцевой камеры (на рис.10 это участок 3); «1-2» - горение топлива на выходе его из камеры нагнетания, при одновременном увеличении объема продуктов горения в камере расширения; «2-3» - расширение продуктов горения с перемещением поршня к вентиляционному окну; «3-0**΄**» - восстановление исходного (атмосферного) давления. На рис.10 перемещению поршня «1÷3» соответствует участок 4.

На основании представленным на рис.13 и рис.14 диаграмм можно сделать следующие выводы:

- при совершении работы потенциальная энергия сгораемого топлива реализуется в РПД более полно, чем в традиционном поршневом ДВС;

- термодинамические процессы, совершающиеся в камерах расширения РПД, протекают при значительно меньшей температуре и меньшем давлении, чем соответствующие термические процессы в традиционном ДВС. За счет этого теплопотери в нем тоже меньше;

- предполагаемое небольшое снижение циклической мощности РПД, по сравнению с традиционным ДВС, с избытком компенсируется продолжительностью термодинамических циклов, а также большим крутящим моментом и многократным увеличением количества этих циклов;

- термодинамический процесс в камерах расширения роторно-поршневого двигателя совершается при относительно низком рабочем давлении и низкой температуре, в том числе за счет наличия регулируемого балластного участка камеры расширения. Поэтому, при отсутствии бокового давления поршней на стенки камер, сами камеры или покрытия их внутренних стен могут быть выполнены из материалов с низкой теплоёмкостью и низкой теплопроводностью, что значительно снижает конвективные теплопотери и, следовательно, существенно повышает КПД двигателя.

Пример компактной компоновки роторно-поршневого двигателя,

обусловленный выводом отработанных газов через нишу монтажа затвора, представлен на рис. 15.

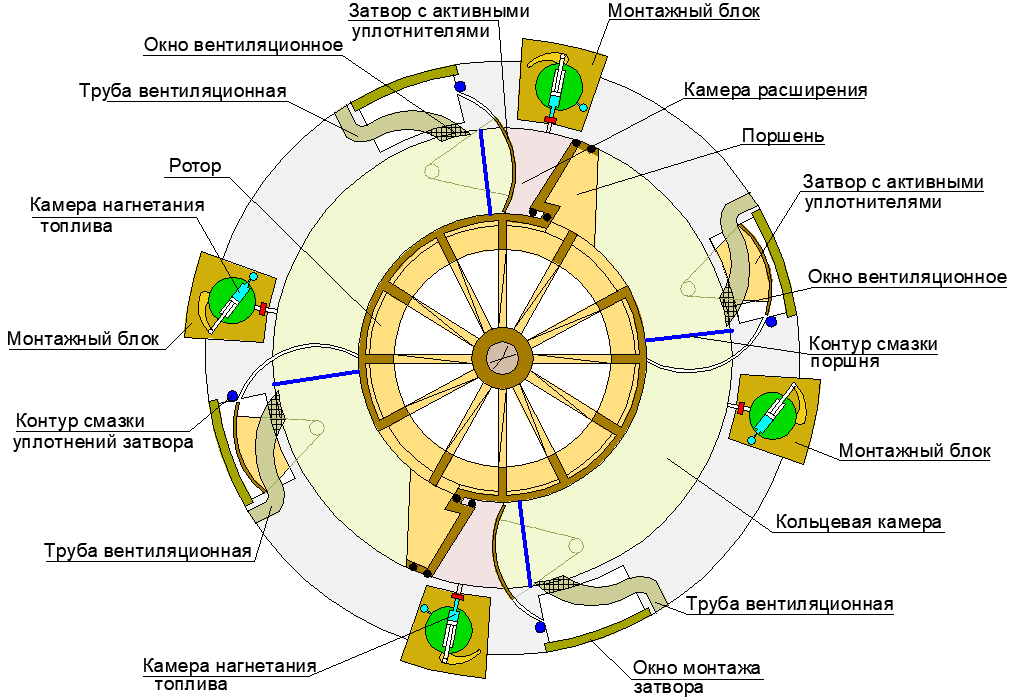


Рис. 15. Двигатель с вентиляционным окном в нише для затвора

Снаружи двигатель закрыт защитным кожухом, препятствующим попаданию в него посторонних предметов и атмосферной влаги. Перед запуском двигателя «на морозе» через него предварительно пропускается теплый воздух*.*

* 1. Экспертная оценка эффективности двигателя, установленного на автомобиле

Оценка эффективности роторно-поршневого двигателя производится в его сопоставлении с традиционным двигателем внутреннего сгорания, имеющим такую же установленную мощность (таблица 1). Рассматривается роторно-поршневой бензиновый двигатель внутреннего сгорания с системой зажигания в виде элемента накаливания, конструкция которого обеспечивает невозможность «перетекания» через него из камеры нагнетания в камеру расширения несгоревшего топлива.

Таблица 1 – Показатели эффективности ДВС

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Распределение потерь (КПД) в двигателе внутреннего сгорания | | | |
| Структура распределения потерь | Традиционный ДВС | | Роторно-поршневой ДВС |
| 1. От несгоревшего топлива | (15-25)% | | 5% |
| 1. От потерь тепла через систему охлаждения | (15-20)% | | 10% |
| 1. От потерь тепла с выхлопами газов | (20-25)% | | 10% |
| 1. От механических потерь (на трение и сжатие топлива в цилиндрах) | (20-25)% | | 5% |
| Итого снижение КПД двигателя | ≈75% | | 30% |
| КПД двигателя | ≈25% | | 70% |  |  |
|  | | | |
| 1. В коробке передач автомобиля и в глушителе | 3% | - | |
| Итого КПД | 22% | 70% | |
|  | | | |
| *Дополнительный эффект от эксплуатации двигателя в оптимальном (экономном) режиме работы* | | | |
| 1. \*Снижение расхода топлива от неполного использования установленной мощности двигателя | - | в 1,5÷2,0 раза | |

\*Большую часть времени автомобиль с роторно-поршневым двигателем может эксплуатироваться в оптимальном режиме работы, т.е. когда двигатель используется в среднем на (40-60)% установленной мощности, что дополнительно снижает расход топлива до двух раз. Следовательно, автомобиль с роторно-поршневым двигателем внутреннего сгорания в оптимальном режиме работы потребляет до 4 раза меньше топлива, чем автомобиль с традиционным двигателем внутреннего сгорания такой же установленной мощности.

Весьма значительным является мультипликативный эффект от унификации секций двигателя, а также - от снижения: веса, вибраций, шума, вредных выбросов в атмосферу, и т.д.

* 1. Заключение

В двигателе предусмотрена возможность включения-отключения отдельных секций, из которых он состоит, и включение-отключение термодинамических процессов, совершающихся в каждой камере расширения секций. Таким образом, в пределах установленной мощности двигателя, всегда используется оптимальный режим его работы. Например, если в двигателе с установленной мощностью 400 л.с. задействованы секции, суммарная мощность которых составляет 150 л.с., то оптимальный режим работающего двигателя будет определяться в пределах 150 л.с., при этом резервная мощность двигателя, которая может быть оперативно использована, например, при перевозке на автомобиле тяжелых грузов, составит 250 л.с.

Двигатель является многовариантным и потому легко унифицируется. Так достаточно освоить производство всего 4-5 типоразмеров секций, чтобы перекрыть весь диапазон технических характеристик двигателей, применяющихся на современных транспортных средствах, начиная от малолитражек и заканчивая двигателями, устанавливаемыми на тяжелой карьерной и строительной технике или на морских и воздушных судах.

Основной проблемой, которая может сдерживать разработку и внедрение данного и любого другого двигателя является то, что на смену хорошо отлаженным технологиям и кооперации производителей автомобильных ДВС, в том числе международной, предлагается разработать и внедрить, практически «с ноля», новые технологии, на адаптацию которых потребуется много средств и времени. К сдерживающим факторам также следует отнести бытующее в обществе мнение о ближайшей перспективе перевода всего автомобильного транспорта на дешевую («бесплатную») электроэнергию и, конечно, абсолютная невосприимчивость РФ к технологиям, предлагаемым для разработки вне государственного заказа.

© Ю. М. Федоров, 2019 .