

Анатолий Дружинин

Цилиндропоршневая группа двигателей и компрессоров

100% инновационных
элементов ЦПГ

Анатолий Дружинин

**Цилиндропоршневая группа
двигателей и компрессоров. 100%
инновационных элементов ЦПГ**

«Издательские решения»

Дружинин А. М.

Цилиндропоршневая группа двигателей и компрессоров.
100% инновационных элементов ЦПГ / А. М. Дружинин —
«Издательские решения»,

ISBN 978-5-44-832341-6

В книге представлены теория и практика инновационных элементов цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Все это сказалось на увеличении мощности и ресурса двигателя или компрессора, уменьшении расхода топлива, улучшении технико-экономических и экологических показателей.

ISBN 978-5-44-832341-6

© Дружинин А. М.
© Издательские решения

Содержание

Об авторе	6
Предисловие	7
Введение	8
Газодинамика и поршневые уплотнения двигателей и компрессоров	10
§1. Функции поршневых уплотнений	12
§2. Проблемы поршневых уплотнений	15
Конец ознакомительного фрагмента.	17

**Цилиндропоршневая группа
двигателей и компрессоров
100% инновационных элементов ЦПГ
Анатолий Матвеевич Дружинин**

© Анатолий Матвеевич Дружинин, 2016

Редактор Фарида Бинятулловна Мирзамова

ISBN 978-5-4483-2341-6

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Об авторе

Дружинин Анатолий Матвеевич, 1935 г.р., кандидат технических наук, доцент Казанского научно-исследовательского университета имени А. Н. Туполева. Профессиональный технолог по авиационным, ракетным двигателям и двигателями внутреннего сгорания. Проблему повышения эффективности ДВС исследует более 30-ти лет, первое изобретение Поршневое уплотнение для ДВС (Авторское свидетельство, SU, №1388572), было получено в 1986г (всего изобретений больше 30-ти). Победитель республиканского конкурса «50 лучших инновационных идей Республики Татарстан в 2006г.

Цилиндропоршневая группа двигателей и компрессоров 100% инновационных элементов ЦПГ

В книге приведен критический анализ научно-технической и учебной литературы, касающийся ЦПГ двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров. Автору, профессиональному технолог по авиационным и ракетным двигателям, впоследствии двигателям внутреннего сгорания, любителю – автомобилисту с большим стажем, понадобились десятилетия, чтобы докопаться до истины и предложить свои меры, которые делают двигатель «лучшим» [1].

Вполне обоснован подзаголовок книги «100% инновационных элементов ЦПГ», ибо весь комплект цилиндропоршневой группы, который иногда изготавливается отдельным предприятием (цилиндр, поршень, поршневые кольца) претерпел принципиальные инновационные изменения и нашел свое исполнение в интегральной конструкции цилиндропоршневой группы двигателя и компрессора.

Во-первых, необходимо было решить проблему уплотнения между поршнем и цилиндром и, связанные с этим огромные механические потери и обеспечить благоприятные условия теплопередачи от перегретой головки поршня охлаждаемому цилиндру. С глубоким смыслом вынесена на обложку книги формула определения высоты поршневого кольца с учетом газодинамики $h = (r_1^2 - r_2^2) / 2r_2$, она принципиально **изменила теорию проектирования поршневых колец**, явилась основанием для разработки принципиально новых конструкций ЦПГ, существенно повлиявших на форму и содержание двигателя и компрессора.

Во-вторых, следовало заменить неэффективные маслосъемные кольца на конструкции, исключаящие нежелательную встречу моторного масла с высокотемпературным рабочим газом. В-третьих, в расчетах цилиндра двигателя необходимо было учесть термодинамические изменения формы и размеров цилиндра в процессе работы двигателя и предложить коническую форму рабочих поверхностей цилиндра и поршня. Кроме того, с целью улучшения термодинамических процессов и теплофизических процессов в камере сгорания, экономии топлива, в высшей степени актуализировалась проблема использования воды и водных растворов в ДВС, разработанная автором в 1991г.

С целью наилучшего восприятия описания влияния термодинамических, газодинамических и гидравлических процессов на работу элементов ЦПГ, в результате, которого появляются принципиально новые конструкции ЦПГ, имеющийся у автора материал изложен в книге в форме учебного пособия.

Автор надеется, что книга будет полезна инженерно-техническим работникам моторостроительных предприятий, специалистам проектно-технологических институтов и студентам высших учебных заведений и техникумов, а также слушателям факультетов и институтов повышения квалификации.

Предисловие

Научно-техническая и учебная литература – это не священные писания, наставлениям которых следуют в своей духовной и практической жизни, а лишь некий опыт предшествующих поколений, который требует непрерывного развития и совершенствования.

Автор.

Мотивом для написания эпиграфа к этим материалам послужило продолжительное, и трудное время доказательства простой истины, очевидного обстоятельства, так существенно влияющего на решение определенной проблемы, но отгороженного от этого решения, многими десятилетиями устоявшихся стереотипов, основанных на мнениях и рекомендациях вполне заслуженных, но иногда заблуждающихся авторитетов.

Полученный личный опыт подтвердил также некий постулат жизненной практики, очевидно в большей степени относящийся к творческим людям, посвятившим себя научно-технической сфере деятельности: **смена профессии в различные периоды жизни скорее хорошо, чем плохо.** Будучи профессиональным технологом, занимающимся технологическими процессами изготовления творений авиационных конструкторов, длительное время решающий проблему повышенного загрязнения ремонтного производства двигателей внутреннего сгорания, открыл для себя и, надеюсь, для пользы людей, нечто новое и интересное. Причем, все эти «открытия» были опубликованы в научно-технических журналах и запатентованы, как изобретения. Этот пример может послужить пожеланием автора молодым специалистам: не бояться менять профиль своей деятельности в своей творческой биографии. Чем больше человек знает, чем шире его кругозор, тем проще решать различные проблемы в смежных областях, и не только.

Тренд высоких коэффициентов полезного действия (КПД), стремящихся к 100% современных энергетических изделий, к коим по праву относится двигатель, утверждал автора в правильности выбранного научно-технического направления определять и исследовать причины подозрительно низкого КПД двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Была уверенность в том, что эти причины существуют и, устранив их можно существенно повысить эффективность ДВС, уменьшить количество вредных и загрязняющих примесей в выхлопных газах. Тем самым не только положительно повлиять на многомиллионный парк еще многие годы эксплуатируемых и постоянно воспроизводимых двигателей самых различных мощностей и назначений, но и дать двигателю хорошую перспективу, полагая, что еще многие десятилетия ДВС будет верно служить человеку.

Известно, что наиболее ответственной частью двигателя является цилиндропоршневая группа (ЦПГ). Поэтому автор предложил разработчикам определенные изменения в ЦПГ поршневых машин, в основе которых лежат патенты на изобретения, подтверждающие новое в проектировании ее элементов, отсутствие подобного в мировой практике и защищающие приоритет автора.

Введение

В книге представлены результаты исследования эффективности цилиндропоршневой группы поршневых машин. Основное внимание уделено двигателям внутреннего сгорания, несколько меньше поршневым компрессорам, учитывая определенную общность и некоторые отличия в назначениях.

В мировой практике двигателестроения только автомобильных двигателей находится в эксплуатации более миллиарда единиц, кроме того, огромное количество мощных и сверхмощных судовых дизелей и стационарных силовых установок гражданского и военного назначения. Несколько меньше, но также в огромных количествах выпускается и эксплуатируется достаточно большой класс поршневых машин – газо-воздушные поршневые компрессоры, которые широко применяются как мобильные (передвижные, устанавливаемые на автомобилях, на электротранспорте, на судовых дизелях, спецтехнике, и т.д.), так и стационарные, выполняющие самые различные задачи. Поршневых компрессоров могло быть еще больше, если бы не совсем корректная замена их в некоторых случаях более сложными турбокомпрессорами.

Известно, что поршневые компрессоры имеют более высокий КПД, низкие эксплуатационные расходы, большой срок эксплуатации, компактность, низкий уровень шума. Инновационная модернизация ЦПГ двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров, представленная автором, позволит повысить их эффективность, ресурс и конкурентоспособность, расширить сферу их использования в экономике страны.

По праву цилиндропоршневую группу двигателей внутреннего сгорания считают «сердцем» мотора по причине схожести их функций, наличие клапанов, определяющие значения давления газа для двигателя или жидкости для человека, присущих им «пороков». Физические возможности человека с больным сердцем могут быть весьма ограничены. Для ДВС тоже существует предел возможного, к сожалению, его КПД может достигать значений 0,5 для некоторых двигателей, т. е. 50% потенциальных возможностей. Этот диагноз – свидетельство серьезного технического недомогания ДВС. Понятно, что КПД, достигший даже 0,5, при имеющихся научно-технических достижениях, никак не может соответствовать энергетическому изделию 21-го века. Возникает подозрение, что с ДВС не все так хорошо, как это представляют теоретики и практики. Очевидно, существуют принципиальные причины, может быть субъективного характера, серьезно влияющие на рабочие процессы, проистекающие в цилиндропоршневой группе. Перед автором стояла задача: определить эти причины и постараться, по возможности, их устранить. Как показали исследования, возможности такие были и раньше, имеются и сейчас.

Не вызывает никаких сомнений актуальность решаемой проблемы. Повысить эффективность поршневых машин – задача не только технико-экономическая, но и в не меньшей мере, а для крупных мегаполисов даже в большей степени – острая экологическая задача. У современных двигателей менее половины сжигаемого топлива идет на выполнение полезной работы, а большая часть засоряет атмосферу вредными и загрязняющими примесями.

Перед автором стояла задача, которая заключалась в следующем. Во-первых, следовало установить и объяснить причины слишком низкого коэффициента полезного действия двигателя, мало меняющегося со временем. К этому необходимо добавить низкий ресурс, большой расход топлива и, особенно, моторного масла (в связи с его частой заменой) и, как следствие, низкие экологические показатели двигателей внутреннего сгорания. Во-вторых, дать конструкторам, разработчикам ДВС определенные рекомендации по их совершенствованию, причем, не только на стадии проектирования и производства новых двигателей, но, что осо-

бенно важно, в процессе эксплуатации миллионов двигателей и компрессоров, при плановых или внеплановых ремонтах.

Известно, что КПД энергетического изделия зависит от различных потерь, сопровождающих его работу. Необходимо было определить эти потери и степень их влияния на процессы, протекающие в двигателе и, соответственно, на его эффективность. К основным потерям в работе ДВС принято относить «утечки газов», т.е. газодинамические потери, постоянно меняющиеся в процессе работы двигателя, механические потери на трение и тепловые – термодинамические потери. Известны, хотя и приблизительно, даже величины этих потерь, и место их происхождения – ЦПГ двигателя.

Основные технико-экономические и экологические характеристики двигателя формируются в цилиндропоршневой группе, в ней следует искать и находить недостатки возможные ошибки, допущенные еще на стадии проектирования. В результате было установлено два существенных дефекта в конструкции ЦПГ двигателя.

Во-первых, обратили на себя внимание незакономерные, просто огромные механические потери на трение уплотнительных (компрессионных) колец, каких там по определению не должно быть.

Во-вторых, несоответствие конструкции стандартных маслосъемных поршневых колец своему назначению, в результате которого были спровоцированы все остальные недостатки двигателя.

Цилиндропоршневая группа является самым слабым звеном в современном двигателе. Именно при выходе из строя ЦПГ приходится чаще всего выполнять капитальный ремонт двигателя. Причем самой уязвимой частью ЦПГ является уплотнение между поршнем и цилиндром, которое влияет на все процессы, происходящие в двигателе.

Газодинамика и поршневые уплотнения двигателей и компрессоров

Разработчики новых двигателей должны понять, что газодинамика поршневой машины это рабочая среда над поршнем, сжимаемая, например, в автомобильных цилиндрах до 8... 20 МПа, которую заставляют работать, а она, эта среда, пытается прорваться через мыслимые и немыслимые микро, макро и просто гарантированные проектировщиками зазоры.

От того, как создаются и как реализуются газодинамические процессы в ДВС, во многом зависят все технико-экономические характеристики и экологические показатели двигателя. Насколько эффективно и стабильно протекают газодинамические процессы в камере сгорания, создавая рабочее давление в цилиндре двигателя, каковы газодинамические потери на такте рабочий ход, зависит полнота срабатывания рабочего давления, величина полезной работы, мощность и эффективность. Поэтому проектирование всех элементов цилиндропоршневой группы, так или иначе находящихся под воздействием газодинамических процессов, в таком типе производства, как массовое в автомобилестроении и не только, должно учитывать газодинамические процессы, протекающие в верхней части поршня.

К сожалению, даже специалисты не уделяют поршневому уплотнению необходимого внимания. Более того, некоторые из них считают, что 2...3% газодинамических потерь незначительны для процессов, протекающих в двигателе. Но с этим трудно согласиться. Например, в двигателях КАМАЗ газодинамические потери составляют 1% от максимального давления 20 МПа в камере сгорания, т. е. 0,2 МПа. Такие потери ставят под сомнение целесообразность использования сложных и дорогих систем дополнительного наддува хотя бы потому, что широко рекламируемый «мягкий» наддув обеспечивает на впуске всего 0,025... 0,055 МПа избыточного давления [2]. Следовательно, для наддува используется меньшее давление на впуске, которое может быть компенсировано сохранением свежего заряда воздуха при одном, но очень важном для данной ситуации условии – наличии качественного уплотнения между поршнем и цилиндром.

Какие нужны аргументы для доказательства того, что КПД современного двигателя, кроме всего прочего, напрямую зависит от полноты срабатывания рабочего давления? Разве не следует учитывать газодинамические потери на такте «рабочий ход», когда «наддув» уже не может повлиять на рабочий процесс? Очевидно следующее: чем меньше газодинамических потерь в цилиндре двигателя, тем большая часть рабочего давления реализуется в работу поршня.

С сожалением можно констатировать, что нормального поршневого уплотнения, которое действительно уплотняет пространство между поршнем и цилиндром и сводит на нет газодинамические потери или минимизирует их в допустимых пределах, в эксплуатации пока не существует. Большие газодинамические и механические потери, связанные с работой компрессионного кольца, серьезно отражаются на форме, размерах и характеристиках двигателя. Тем не менее, в общепринятых формулах расчета уплотнительных поршневых колец почему-то не учитывается влияние газодинамики на работу поршневых колец, работающих в зоне огромных рабочих давлений. Это не просто «упущение», а принципиальная ошибка.

Невозможно согласиться с тем, что газодинамика «помогает» собственным силам упругости кольца прижатию его к стенке цилиндра: «Уплотнение осуществляется благодаря прижатию кольца к стенке цилиндра силами упругости кольца и давления газов» [3]. Этот, как будто очевидный вывод еще надо было доказать. Если в учебнике заявлено, что газодинамика оказывает воздействие на поршневое кольцо, то логичнее было бы объяснить студентам, будущим специалистам, да и вообще специалистам, **какое влияние оказывает и, самое глав-**

ное, с какими силами. Это оказалось так просто сделать, но, в то же время, принципиально и в высшей степени необходимо. Доказательства столь важного вывода представлены в следующих материалах.

§1. Функции поршневых уплотнений

Принято считать, что поршневые уплотнения предназначены для устранения прорыва рабочих газов через гарантированный зазор между поршнем и цилиндром, постоянно меняющимся в процессе работы и эксплуатации двигателя в результате термодинамических изменений размеров деталей ЦПГ, а также их износа.

Обычно, под поршневым уплотнением понимают совокупность одного, двух и более поршневых колец, расположенных в специальных кольцевых канавках, выполненных в верхней части (головки) поршня. Иногда встречаются конструкции, в которых предусмотрена установка дополнительного поршневого кольца на юбке в нижней части поршня (уменьшаются динамические нагрузки, стуки поршня о стенку цилиндра, вибрации).

При определении количества поршневых колец следует руководствоваться величиной диаметра цилиндра, частотой вращения коленчатого вала, мощностью и назначением двигателя. Как покажут дальнейшие исследования, целесообразнее использование одной поршневой канавки, в которой могут быть установлены несколько поршневых колец. В этой связи, корректнее говорить не об отдельных компрессионных кольцах, а о поршневом устройстве, как комплекте поршневых колец, размещенных в одной единственной поршневой канавке, можно сказать расточке, расположенной на внешнем диаметре головки поршня. Аналогично следует представлять в двигателе не только «маслосъемное кольцо», а маслосъемное поршневое устройство.

Трудно согласиться с мнением специалистов, считающих, что моторное масло, кроме всего прочего, можно отнести к уплотняющим элементам. По мнению автора, разработчики конструкции поршневого уплотнения должны предотвращать «встречу» двух непримиримых компонентов процесса – высокотемпературного (более 2273К или 2000⁰С) рабочего газа с не очень «термостойким» моторным маслом, которое сохраняет свои технические свойства при температурах не выше 73...53К или 200...220⁰С.

Поршневое уплотнение должно выполнять **две основные задачи**:

– исключать или сокращать до незначительного минимума прорыв рабочих газов в картер двигателя и обеспечивать необходимое разрежение над поршнем в рабочем такте «выпуск» свежего заряда воздуха;

– максимально возможно отводить тепло от перегретой головки поршня охлаждаемому цилиндру.

Проектируя поршневое уплотнение, необходимо обращать внимание на следующее обстоятельство. Перекрывая зазор между поршнем и цилиндром, конструкция должна устранять не только пропуск сжимаемого воздуха и рабочих газов в поршневую канавку и далее в картер двигателя, но и предотвращать попадание в поршневую канавку копоти и сажи. Дело в том, что при ходе поршня в верхнее положение на такте «выпуск», верхним торцом верхнего компрессионного кольца со стенки цилиндра снимаются продукты сгорания, которые через зазор между верхней полкой поршневой канавки и верхним торцом компрессионного кольца попадают в поршневую канавку. Под действием высоких давлений и рабочих температур эти продукты, в виде копоти и сажи, коксуются, лишая компрессионные кольца подвижности, что приводит к их заклиниванию и поломке двигателя [4]. По второй функции поршневого уплотнения, не менее важной, чем первой, известно, что при отсутствии масляного охлаждения поршня через компрессионные кольца отводится до 60% теплоты, теряемой поршнем [5].

Пренебрежением этой функции при проектировании компрессионного кольца серьезно осложняются, как конструкция, так и работа всего двигателя. Естественно, что отвод тепла от поршня цилиндру тем активнее, чем больше масса поршневого кольца, площади контактных поверхностей системы «стенка цилиндра – рабочая поверхность компрессионного кольца –

полки поршневой канавки» и усилия прижатия одной детали системы к другой. Причем, было бы совсем не плохо, если в эту «систему» подключить дополнительный элемент с хорошим коэффициентом теплопроводности, который способствовал бы улучшению теплопередачи от перегретой головки поршня к охлаждаемому цилиндру. Этот вопрос также будет рассмотрен в этих исследованиях.

Применение в последние годы на двигателях легковых автомобилей компрессионных колец с очень малой высотой (около миллиметра), входит в противоречие с указанными термодинамическими условиями, вызывая нежелательные явления и отрицательные последствия, о которых будет изложено ниже.

Уплотнение между поршнем и цилиндром для ДВС является своего рода границей между подготовительными физико-механическими, химическими и термодинамическими процессами (получение топливовоздушной смеси и ее сгорание), призванными получить расчетное давление рабочих газов в цилиндре, и процессами, которые должны максимально эффективно это давление «сработать» с наименьшими потерями, превратив его в полезную работу.

Ученые авторитеты свидетельствуют, что «На преодоление трения поршневых колец приходится приблизительно 40...50%, а иногда до 60% всех механических потерь в двигателе» [5]. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что эти значения явно занижены, а доказательства такого вывода были достаточно подробно изложены и доведены до сведения специалистов [6], [7]. Установлено, что низкий КПД двигателя, застрявший в районе 0,45, это результат больших газодинамических и механических потерь по причине неэффективных уплотнительных и маслосъемных поршневых колец. Причем, обнаруженный дефект в конструкции поршневой группы двигателя: **«поршень – поршневые кольца»**, свидетельство элементарного невнимания специалистов к конструкции, от которой зависят все технико-экономические и экологические характеристики ДВС. Создалось впечатление, что при динамически развивающемся рынке и огромном спросе, разработчиков и изготовителей такое состояние двигателя, по большому счету (в прямом смысле) вполне устраивает теоретиков и практиков. Производителей двигателей как-то можно оправдать тем, что для них любые изменения конструкции, даже незначительные, это дополнительные проблемы, учитывая массовый тип производства и, к тому же им больше импонирует более сложная, значит более дорогая техника. Чего нельзя сказать про потребителей, которые принимают пассивное участие в этом процессе и получают то, что им предлагают.

К сожалению, невозможно понять ученых, разработчиков ДВС, когда они заявляют, что у них нет претензий к поршневым кольцам. Оно и понятно, откуда быть сомнениям, если эти «совершенства» узаконены государственными стандартами. Но надо понимать, что в технике нет ничего абсолютно совершенного, особенно для такого энергетического устройства, как ДВС, у которого такой низкий КПД и целый шлейф различных недостатков и даже ошибок, которые определяют его существование и перспективу. Тем не менее, попробуем разобраться, каким образом ДВС оказался в столь сложном состоянии, требующем принятия **нестандартных** решений.

Поиски причин низкого КПД двигателя, многолетние исследования его недостатков, выявили основного «виновника» так существенно влияющего на конструкцию поршневой группы и на все основные процессы, протекающие в двигателе. Этой причиной явились неэффективные маслосъемные поршневые кольца, которые, в свою очередь, спровоцировали появление уплотнительных поршневых колец: **«Кольца с особым соскабливающим действием»** [8]. Теоретически компрессионные кольца никогда не претендовали на маслосъемные функции, и раньше они не были «низкими», высота и радиальная толщина колец были приблизительно одинаковыми.

Несовершенство конструкций маслосъемных колец особенно стало проявляться с началом форсирования ДВС, осуществляемого в основном, за счет повышения скорости вращения коленчатого вала. Маслосъемные кольца перестали справляться со своими функциями. Повышенный расход масла на угар, активное нагарообразование на поверхностях деталей ЦПГ, увеличение количества вредных и загрязняющих примесей в выхлопных газах, заставили разработчиков принимать какие-то меры. Но, вместо того, чтобы совершенствовать конструкцию самих маслосъемных колец, эту проблему переложили на компрессионные кольца, заставив их выполнять не свойственные функции – скоблить стенку цилиндра, освобождая ее от масла, с которым не справилось маслосъемное кольцо. В настоящее время, основываясь на рекомендациях ученого авторитета [8], мировая практика двигателестроения применяет «низкие» компрессионные кольца, к тому же «скручивающиеся» (торсионные) за счет различных фасок, выточек и уклонов торцов компрессионных колец, которые приобретают вдруг понадобившееся «соскабливающее» действие на стенку цилиндра, к сожалению, за счет существенного ухудшения своих уплотнительных качеств [9]. Эти решения нашли свое «законное» воплощение в виде «клинообразных» поршневых колец [8], используемые в отечественных стандартах как «трапецеидальные» [10] и «трапецевидные» [11] поршневые кольца. С точки зрения автора, более правильную позицию в этом смысле занял ГОСТ по поршневым кольцам компрессоров [12], который рекомендует уплотнительные кольца и «низкие» и «высокие», но все прямоугольного профиля.

Как было отмечено выше, у такой ответственной детали, коей является уплотнительное кольцо, работающее в зоне огромных рабочих давлений и температур, размер высоты кольца не рассчитывается, а просто «рекомендуется» стандартом. На один и тот же диаметр цилиндра дается на выбор несколько значений, согласно которым уплотнительное кольцо априори «низкое», т.е. высота кольца у эксплуатируемых двигателей всегда меньше его радиальной толщины. Автор категорично не согласен с такой постановкой вопроса, считая **тренд «низких» компрессионных колец ошибкой**, которую нужно и, самое главное, можно достаточно просто исправить. Вполне очевидно, что если учесть все условия, в которых работает уплотнительное кольцо, то просто необходимо заменить «свободный» размер высоты кольца на «исполнительный», т.е. расчетный, с указанием отклонений в сотых и даже тысячных долях миллиметра [7]. Пора в проектировании ДВС обратить особое внимание на проблему точности, которой, как показали исследования, в ДВС явно недостает. **Необоснованно увеличенные зазоры – наиболее существенный дефект ДВС.**

Судовые дизели, особенно мощные, относят к разряду «малооборотных» двигателей. Малые обороты это одновременно хорошо и плохо. Хорошо тем, что при меньшей скорости вращения коленчатого вала, уменьшаются различные центробежные и центростремительные силы, спокойней работает двигатель, создаются более благоприятные условия подготовки и сгорания топливовоздушной смеси, уменьшается износ контактных пар, увеличивается ресурс двигателя. Плохо то, что небольшая скорость перемещения поршня представляет больше времени для газодинамических потерь. Поэтому проблема неэффективного поршневого уплотнения обостряется по мере увеличения диаметров цилиндров и мощностей двигателей, актуализируется и требует своего решения.

Согласно проведенным исследованиям, такое решение вполне возможно, если внести в конструкцию ЦПГ определенные изменения, как оказалось, востребованные всеми типами и моделями двухтактных, четырехтактных двигателей и поршневых компрессоров самых малых и самых больших изделий, без каких-либо ограничений.

§2. Проблемы поршневых уплотнений

Для того, чтобы понять значение и оценить эффективность того или иного технического изделия, следует проанализировать его работоспособность при граничных условиях: нулевых и максимальных величинах влияющих параметров.

Исходя из этого, для понимания значения поршневого уплотнения двигателя внутреннего сгорания, можно представить два конструктивных варианта: поршень без уплотнения с цилиндром и поршень с идеальным уплотнением, не допускающий вообще каких-либо утечек рабочих газов из цилиндра в картер двигателя.

Очевидно, не требует доказательств тот факт, что в первом случае двигатель даже не запустится, не говоря уже о его нормальной работе. И никакие конструкторско-технологические меры этому не смогут помочь. Если даже следовать примеру изготовления плунжерной пары и при изготовлении двигателя попытаться притереть поршень по цилиндру, то, вероятно возможно запустить двигатель, но, как только начнет прогреваться кинематическая пара «поршень – цилиндр», эффективность двигателя будет резко падать до спонтанной его остановки.

При нагреве цилиндра его внутренний диаметр увеличивается в большей степени, чем диаметр поршня. Гарантированный зазор между поршнем и цилиндром, значение которого в практических расчетах при проектировании цилиндра и поршня принимают от 0,04% до 0,06% от величины диаметра цилиндра, еще больше увеличивается. Конечно, это при условии нормального, т.е. эффективного уплотнения между поршнем и цилиндром. Через этот зазор рабочие газы напрямую прорываются в картер двигателя, происходит резкое падение рабочего давления в камере сгорания до значений ниже критических, при которых обычно происходят процессы воспламенения, распространения фронта пламени по всему объему камеры сгорания и сжигания топливовоздушной смеси. Эффективность этих процессов снижается и при определенных параметрах рабочие процессы в камере сгорания прекращаются, двигатель плохо запускается или совсем отказывается работать.

В контексте всего выработанного можно констатировать непреложное правило: **эффективная работа двигателя и стабильность рабочих процессов**, происходящих в цилиндре, начиная от впуска свежего заряда воздуха и заканчивая выпуском отработанных газов, возможны при условии **постоянства всех факторов**, участвующих в подготовке топливовоздушной смеси, ее сгорании и превращения в полезную работу.

Понятно, что одним из основных факторов, влияющих на процессы, происходящие в камере сгорания, является **расчетное давление** в цилиндре над поршнем, которое кардинальным образом оказывает влияние на работу двигателя, его технико-экономические и экологические характеристики.

Становится очевидным, что давление в цилиндре, в свою очередь, зависит от качества уплотнения между поршнем и цилиндром, другими словами – от эффективности поршневого уплотнения, т.е. от величины потерь трех физико-химических сред, сначала сжимаемого воздуха, затем топливовоздушной смеси и, в итоге, рабочих газов.

К этому обязательно следует добавить, «заложенное» в современных конструкциях поршневых уплотнений, увеличение потерь сжимаемого воздуха, топливовоздушной смеси и рабочих газов за счет термодинамических изменений размеров цилиндра, поршня и компрессионных колец, а также за счет износа деталей цилиндропоршневой группы в процессе эксплуатации двигателя.

Здесь уместно обратить внимание специалистов на пренебрежительное отношение к, так называемым, **тепловым зазорам**, которые корректнее обозначать, как **гарантированные термодинамические зазоры**, то есть зазоры, без которых не представляется возможным собрать ЦПГ, величина которых претерпевает изменения в процессе работы и эксплуата-

ции двигателя. Термодинамические зазоры должны гарантировать надежный запуск двигателя и нормальное начало его работы в существующих климатических условиях. Как было отмечено выше, достаточно вольное назначение не только термодинамических, но и иных зазоров – большое место в автостроении.

Из приведенных данных можно сделать определенный вывод, заключающийся в том, что общепринятая принципиальная схема поршневого уплотнения двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров требует серьезной доработки. Причем, уплотнение выглядит простой, теоретически изученной и практически освоенной частью двигателя, поэтому разработчики при совершенствовании двигателя, чаще всего, принимают уплотнение, как данность, к тому же определенную ГОСТами.

Кроме того, раздельное расположение уплотнительных колец, каждого в своей поршневой канавке, можно отнести к разряду принципиальных ошибок в существующих поршневых уплотнениях ДВС и поршневых компрессоров. С обоснованием применения не отдельных «поршневых колец», как это используется в мировой практике двигателестроения, а поршневых уплотнений, как комплекса поршневых колец различной конструкции, расположенных в одном расточенном углублении поршня можно познакомиться в работе [13], подробности будут также представлены ниже.

Используя неэффективные поршневые уплотнения в современных двигателях внутреннего сгорания, разработчики вынуждены принимать меры, которые в той или иной, степени компенсируют недостатки существующих конструкций. Причем, принимаемые «меры» существенно влияют как на форму, так и на содержание двигателя. В качестве самого простого решения снижения газодинамических потерь по вине неудовлетворительного уплотнения конструкторы используют увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя

Обычно газодинамические потери связывают с уменьшением ресурса двигателя, что вполне справедливо, но не только. Увеличение частоты вращения коленчатого вала сокращает время всех подготовительных процессов, связанных с подачей топлива в камеру сгорания, делает более «жесткими» условия работы всех агрегатов и приборов, связанных с этими процессами. Сокращается время всех тактов рабочего цикла двигателя и время всех трех фаз сгорания топливовоздушной смеси, и, следовательно, снижается эффективность (полнота) сгорания топливовоздушной смеси. Это, несомненно, сказывается на увеличении расхода топлива и на ухудшении экологических показателей двигателя.

Можно сколь угодно много повышать частоту вращения коленчатого вала двигателя, стремясь получить максимальное рабочее давление в цилиндре, но при этом необходимо помнить о том, что это, чаще всего, возможно при кратковременном использовании такого двигателя. Эту меру могут себе «позволить» конструкторы спортивной или военной техники, или иных специальных изделий.

В качестве второго «компенсатора» газодинамических потерь, на многих моделях двигателей, для обеспечения расчетного давления в цилиндре, все больше находят применение достаточно сложные системы и агрегаты различных «наддувов». Причем, эта мера серьезно усложняет конструкцию двигателя, его эксплуатацию и повышает цену. Рассматривая эффективность уплотнения между поршнем и цилиндром, имеет смысл более внимательно отнестись к проблеме наддува, все больше завоевывавшей автомобильный рынок. Соображения по поводу целесообразности использования турбонаддува в ДВС будут рассмотрены более подробно.

Итак, становится очевидным, что несовершенство архаичного по сути уплотнения между поршнем и цилиндром приводит многотрудную работу больших коллективов разработчиков и изготовителей двигателей к скромным результатам, которые должны и могут быть значительно лучше и убедительнее.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.