



МРНТИ 55.42.27

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-153-4-111-123>

Сравнительный анализ распределения давления компрессионных поршневых колец в цилиндре двс

А.К. Каукаров^{1*} , Б.У. Жаманбаев² , У.Ш. Кокаев² ,
Н.С. Сауханов¹ , Э.А. Бегимкулова³ 

¹Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан.

³АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, Алматы, Казахстан

E mail: altynbek-79@mail.ru, kokayev_ush@enu.kz, zhaman78@mail.ru,
eb_199292@mail.ru, nurgazy.saukhanov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается сравнительный анализ удельного давления на стенку цилиндра, создаваемого традиционным компрессионным поршневым кольцом и альтернативной конструкцией, состоящей из двух полуколец. Основное внимание уделено теоретическим аспектам формирования и распределения контактного давления между поршневым кольцом и зеркалом цилиндра. Приведены математические модели, описывающие напряжённо-деформированное состояние кольца при установке в цилиндр, а также предложен упрощённый подход к расчёту давления для конструкции из двух полуколец без учёта упругости материала. Расчёты показали, что для цельного кольца характерна неравномерная эпюра давления с пиковыми значениями, что может способствовать ускоренному износу элементов цилиндра-поршневой группы. Также приведены рекомендации по выбору материалов и геометрических параметров колец, позволяющих повысить герметичность камеры сгорания и ресурс двигателя. Авторы подчёркивают, что применение конструкции из двух полуколец может стать перспективным направлением в модернизации поршневых колец двигателей внутреннего сгорания, особенно в условиях повышенных температур и нагрузок. Представленные материалы могут быть полезны инженерам, исследователям и разработчикам при проектировании и анализе элементов ЦПГ.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, компрессионные поршневые кольца, полукольца, эпюра давления, удельное давление.

Введение

Компрессионные поршневые кольца являются одним из ключевых элементов цилиндрико-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Их задача заключается не только в обеспечении герметичности камеры сгорания, но и в выполнении ряда дополнительных, не менее значимых функций: регулирование расхода масла, участие в теплообмене между поршнем и стенкой цилиндра, а также стабилизация положения поршня при его движении. Эффективность выполнения всех этих функций в значительной степени определяется величиной и характером распределения удельного давления, с которым поршневые кольца прижимаются к зеркалу цилиндра [1]. Правильное формирование давления обеспечивает минимальные утечки газов, стабильность работы двигателя и увеличение его ресурса.

Исследование удельного давления поршневых колец является важной задачей как при проектировании новых двигателей, так и при совершенствовании существующих конструкций. На современном этапе развития двигателестроения всё большее внимание уделяется вопросам повышения экономичности, экологичности и долговечности агрегатов, что напрямую связано с эффективностью работы поршневых колец. Традиционные компрессионные кольца остаются наиболее распространённым типом уплотнений, применяемых в ДВС, однако их конструкция имеет ряд ограничений. Наибольшие сложности связаны с тем, что давление по окружности кольца распределяется неравномерно, что может приводить к локальным зонам повышенного износа, снижению герметичности и появлению дополнительных потерь на трение.

Удельное давление на стенку цилиндра определяется двумя основными факторами: собственными упругими силами кольца и давлением газов, проникающих за кольцо. Базовое прижатие создаётся за счёт упругой деформации кольца при его установке в канавку поршня и последующем сжатии в цилиндре. Эта величина сравнительно невелика — от 0,05 до 0,2 МПа, в зависимости от типа двигателя, конструкции кольца и его размеров [2]. При этом в работе двигателя решающую роль играет давление газов, поступающих в замковую щель и за кольцо. Оно может многократно увеличивать общую силу прижатия и существенно влияет на характер распределения нагрузки.

Неравномерность распределения удельного давления является одной из основных проблем традиционных поршневых колец. Например, при каплевидной или грушевидной эпюре давления значения могут изменяться от 0,45 до 2,85 МПа, что приводит к значительным нагрузкам на определённых участках поверхности цилиндра [3]. Эти локальные пиковые значения ускоряют износ цилиндров и колец, уменьшают ресурс ЦПГ и ухудшают условия формирования смазочной плёнки. В условиях высоких оборотов и повышенных температур такие явления могут привести к увеличению расхода масла, снижению компрессии и появлению задиров.

Анализ существующей научной литературы подтверждает высокую актуальность проблемы. В работе [4] исследовано влияние геометрии кольца на распределение давления. Авторы демонстрируют, что традиционные конструкции неизбежно создают зоны локального перенапряжения, что приводит к ускоренному износу цилиндров. В исследовании [5] предложена альтернативная конструкция поршневого кольца, выполненная из двух независимых полуколец. Такой подход позволяет добиться более равномерного распределения давления и снижает силу трения, что положительно сказывается на КПД и ресурсе двигателя.

В другом исследовании [6] рассматривается влияние материалов и покрытий на износостойкость колец. Было показано, что новые композиционные материалы и многослойные покрытия способны значительно улучшить теплоотвод, устойчивость к износу и стабильность при высоких температурах. При этом особое внимание уделяется вопросу взаимодействия кольца с цилиндром в условиях переменных нагрузок, когда традиционные кольца подвержены повышенным деформациям.

Работа [7] посвящена численному моделированию контактных напряжений и давлений между поршневым кольцом и цилиндром. Моделирование методом конечных элементов позволяет выявить пиковые зоны нагрузки и оценить влияние различных факторов: овальности цилиндра, термических деформаций, скорости поршня, толщины смазочной плёнки. Результаты показывают, что традиционные кольца склонны к резким скачкам давления в зоне замка, что особенно заметно на высоких оборотах.

Таким образом, удельное давление компрессионного поршневого кольца является одним из ключевых параметров, определяющих эффективность, долговечность и надёжность работы двигателя. Оптимизация этого параметра требует комплексного подхода, включающего совершенствование конструкции, использование новых материалов, моделирование нагрузок и внедрение инновационных технологий покрытия поверхности.

Особый интерес в последние годы вызывают конструкции поршневых колец, состоящие из двух полуколец. Благодаря отсутствию зоны замка в традиционном понимании и снижению внутренних напряжений такие конструкции позволяют обеспечить более равномерное распределение давления и уменьшить зоны локального износа. Это особенно важно для современных ДВС, работающих при высоких температурных и механических нагрузках, где традиционные поршневые кольца могут быть недостаточно эффективны.

Исходя из этого, цель данной статьи состоит в проведении сравнительного анализа удельного давления, создаваемого традиционным поршневым кольцом и конструкцией из двух полуколец. В ходе работы рассматриваются теоретические основы формирования давления, приводятся данные численных расчётов, анализа распределения нагрузки и обсуждаются результаты моделирования. Кроме того, уделено внимание возможным преимуществам альтернативной конструкции в части повышения ресурса цилиндро-поршневой группы и оптимизации работы двигателя.

Методология

Теоретические основы давления на стенку цилиндра традиционного компрессионного поршневого кольца

Давление компрессионного поршневого кольца на стенку цилиндра формируется в основном за счёт упругих деформаций кольца, возникающих при его установке в цилиндр. В свободном состоянии кольцо имеет внешний диаметр больше, чем внутренний диаметр цилиндра. При установке кольцо принудительно сжимается до размера цилиндра, вследствие чего в материале возникают напряжения, а само кольцо стремится восстановить первоначальную форму, создавая радиальное давление на стенку цилиндра. Этот процесс описывается законом Гука, что позволяет применять классические методы

расчёта упругих элементов. Основное уравнение для вычисления радиального давления P кольца на цилиндр представлено выражением [8]:

Данная формула показывает, что давление прямо пропорционально модулю упругости и толщине кольца. Таким образом, материалы с более высокими значениями E , такие, как легированные стали или высокопрочные чугуны, обеспечивают более высокое радиальное давление при одинаковой величине деформации δ .

$$P = \frac{E \cdot t \cdot \delta}{D^2} \quad (1)$$

где: E – модуль упругости материала кольца;
 t – толщина кольца;
 δ – величина зазора между свободным состоянием кольца и его установленным состоянием;
 D – диаметр цилиндра.

В учебнике А.И. Колчина и В.П. Демидова [3] уделяется значительное внимание расчёту среднего удельного давления поршневых колец. Оно является важнейшим параметром, определяющим герметичность камеры сгорания. Среднее удельное давление зависит не только от упругих свойств кольца, но и от его геометрии, в частности, от соотношения высоты и толщины кольца, а также от величины начального замка.

Основная формула для расчета среднего удельного давления p_{cp} приведена в виде:

$$p_{cp} = 0,152 E \frac{A_0/t}{(D/t)(D/t - 1)^3} \quad (2)$$

где: A_0 – разность между величинами зазоров замка кольца в свободном и рабочем состояниях, м.

Допустимое среднее радиальное давление [4]:

- для компрессионных колец – 0,1–0,37 МПа;
- маслосъемных колец – 0,2–0,4 МПа.

Эти значения получены из опыта эксплуатации двигателей различных типов и учитывают компромисс между износом, потерями на трение и качеством уплотнения.

Эпюра давления по окружности цилиндра

В реальных двигателях давление по окружности не является равномерным. Неравномерность обусловлена рядом факторов:

- смещение замка;
- деформация кольца в канавке;
- неполная цилиндричность стенок;
- тепловые расширения;
- влияние давления газов.

Для бензиновых и дизельных двигателей принимаются различные формы эпюры давления поршневого кольца на стенку цилиндра, что обусловлено различиями в рабочих условиях и требованиях к уплотнению. Для построения графиков, иллюстрирующих распределение давления $p(\psi)$ (в МПа) поршневого кольца на стенку цилиндра в

зависимости от угла поворота ψ (от 0° до 180°), используются данные коэффициентов $\mu_k(\psi)$ для бензиновых и дизельных двигателей. Давление в каждой точке рассчитывается как произведение среднего давления P_{cp} на соответствующий коэффициент $\mu_k(\psi)$:

$$p(\psi) = p_{cp} \cdot \mu_k(\psi) \quad (3)$$

Эпюры давления имеют форму, напоминающую грушевидную или каплевидную линии, с характерными пиками нагрузки. Эти формы хорошо согласуются с данными экспериментальных исследований, которые показывают, что максимальные нагрузки приходятся на зоны, расположенные примерно на $40-50^\circ$ от вертикальной оси.

На изображении представлены графики, иллюстрирующие распределение давления $p(\psi)$ (в МПа) поршневого кольца на стенку цилиндра в зависимости от угла поворота (рис 1а) [4]. Графики показывают изменение давления по окружности цилиндра, начиная с 0° до 180° .

Графики демонстрируют, как давление изменяется по окружности цилиндра, что важно для анализа герметичности и износа поршневых колец. Форма кривых может быть грушевидной или каплевидной, что характерно для распределения давления в поршневых кольцах.

Используя приведённые выше формулы и таблицы значений давления кольца, можно провести гармонический анализ функции $p(\psi)$ [10]. Для этого мы применили метод Рунге [11]. Этот метод позволяет разложить периодическую функцию в ряд Фурье, что полезно для анализа гармоник и выявления особенностей распределения давления.

Используя вычисленные коэффициенты, ряд Фурье для $\mu_k(\psi)$ можно записать в виде:
дизельный двигатель

$$\mu_k(\psi) \approx 1.16 - 0.23 \cos(\psi) + 0.46 \sin(\psi) + 0.12 \cos(2\psi) - 0.32 \sin(2\psi) - 0.57 \cos(3\psi) + 0.09 \sin(3\psi)$$

бензиновый двигатель

$$\mu_k(\psi) \approx 1.18 - 0.12 \cos(\psi) + 0.23 \sin(\psi) + 0.08 \cos(2\psi) - 0.15 \sin(2\psi) - 0.10 \cos(3\psi) + 0.05 \sin(3\psi)$$

Эти коэффициенты позволяют аппроксимировать функцию $\mu_k(\psi)$ и анализировать её гармонические свойства. Эти выражения позволяют строить эпюры давления с высокой точностью и использовать их в моделях износа, расчёте эффективной мощности и прогнозировании ресурса. Гармонический анализ особенно важен, так как он позволяет оценить не только средние значения давления, но и интенсивность колебаний, вызывающих динамические нагрузки на элементы ЦПГ.

Теоретические основы давления компрессионного поршневого кольца на стенку цилиндра при конструкции из двух полуколец

Альтернативная конструкция поршневого кольца — два независимых полукольца — позволяет изменить характер взаимодействия с цилиндром. В отличие от цельного кольца, которое имеет замковую щель и неравномерное распределение упругих напряжений, полукольца обладают высокой независимостью и допускают более равномерное распределение нагрузок. Для расчета удельного давления двух полуколец на цилиндр двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [12], если на каждое полукольцо действует сила F , необходимо учитывать площадь контакта между полукольцами и цилиндром.

Если два полукольца прижимаются к цилиндру с помощью дополнительной силы F , и мы не учитываем упругость материала, то расчет удельного давления будет основываться на суммарной силе, действующей на контактную площадь. В этом случае, если на каждое полукольцо действует сила F , то общая сила, прижимающая оба полукольца к цилиндру, будет $2F$.

Удельное давление p определяется по формуле:

$$p_{\square} = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot t} \quad (6)$$

где: t – толщина кольца;
 D – диаметр цилиндра.
 F – сила, действующая на каждое полукольцо (в кН).

Два полукольца прижимаются к стенке цилиндра с помощью силы F , и предполагается, что давление распределяется равномерно по всей контактной поверхности, то эпюра давления на стенку цилиндра будет равномерной. Это означает, что давление p будет одинаковым по всей площади контакта полуколец с цилиндром. Таким образом, эпюра давления на стенку цилиндра будет равномерной, как показано на рисунке 16.

Важной особенностью этой конструкции является то, что при равномерном прижатии полукольца дают практически идеальную равномерную эпюру давления по всей длине контакта. В таком случае отсутствуют концентрации напряжений, характерные для традиционных колец, особенно в районе замка.

Равномерность давления приводит к следующим преимуществам:

- снижение локальных перегрузок;
- уменьшение износа зеркала цилиндра;
- снижение тепловых деформаций;
- улучшение условий смазывания;
- стабильность характеристик при высоких температурах.

Кроме того, отсутствие замковой щели устраняет характерную проблему — прорыв газов через зону замка. Это повышает эффективность уплотнения и способствует увеличению общей компрессии двигателя.

Дополнительные аспекты расчёта

Для двух полуколец следует учитывать:

- возможное микроскольжение между полукольцами;
- влияние формы канавки поршня;
- равномерность распределения смазки;
- температурные деформации при нагреве до 250–300 °С;
- работу в условиях переменного давления газов.

Несмотря на упрощённую модель, проведённые расчёты и данные литературных исследований подтверждают, что конструкция из полуколец обеспечивает значительно более равномерное распределение давления по стенке цилиндра, чем традиционные кольца.

Результаты и Обсуждение

Результаты проведённого теоретического анализа показали, что давление, формируемое традиционным поршневым кольцом на стенку цилиндра, напрямую связано с его упругими свойствами и геометрическими параметрами. Согласно закону Гука, при сжатии кольца возникают внутренние напряжения, которые и обеспечивают радиальное прижатие кольца к стенке цилиндра. На рисунке 1а представлена типичная эпюра давления для традиционного кольца, демонстрирующая выраженную неравномерность распределения нагрузки по окружности цилиндра. Наибольшие значения давления наблюдаются в зоне, противоположной замку кольца, а минимальные — в районе самого замка. Такая форма кривой приводит к локальным зонам повышенного износа и увеличивает вероятность прорыва газов.

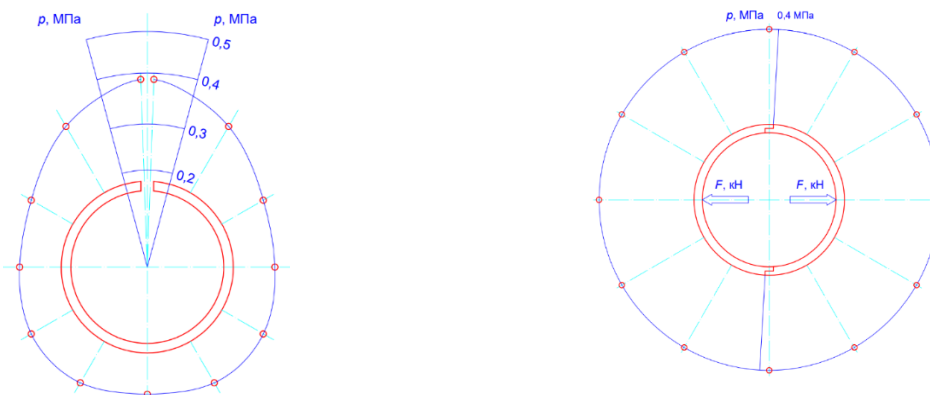
В отличие от этого, анализ конструкции из двух полуколец показал, что давление на стенку цилиндра распределяется практически равномерно по всей площади контакта. На рисунке 1б представлена эпюра давления для данной конструкции, подтверждающая отсутствие выраженных пиков и провалов нагрузки. Равномерность распределения является значительным преимуществом, так как снижает вероятность возникновения локальных перегрузок, уменьшает трение и способствует продлению ресурса цилиндро-поршневой группы. Полученные результаты позволяют сформулировать ряд рекомендаций по оптимизации конструкции поршневых колец. В частности, для повышения герметичности и снижения износа целесообразно использовать материалы с высоким модулем упругости E , что обеспечивает более стабильное радиальное давление при различных режимах работы двигателя. Важным фактором также является оптимизация геометрических параметров кольца — толщины t , высоты и диаметра D . Их корректный подбор позволяет сформировать благоприятную эпюру давления и снизить амплитуду колебаний нагрузки.

Кроме того, при проектировании новых конструкций необходимо учитывать форму эпюры давления, характерную для конкретного типа двигателя — бензинового или дизельного. Анализ распределения давления должен проводиться с использованием гармонического анализа, что позволяет более точно оценить влияние различных факторов на напряжённо-деформированное состояние кольца. Таким образом, применение двух полуколец или оптимизированной формы традиционного кольца может существенно улучшить эксплуатационные показатели двигателя.

Полученные результаты исследования обладают высокой практической значимостью и могут быть использованы в различных направлениях развития и совершенствования двигателестроения. Прежде всего они представляют ценность для проектирования новых моделей поршневых колец, где требуется учитывать реальные данные о распределении давления, его неравномерности и влиянии конструктивных особенностей. Благодаря анализу эпюры давления можно разрабатывать кольца с оптимизированной формой профиля, улучшенной упругостью и сниженным коэффициентом трения. Такие усовершенствованные конструкции могут обеспечить более стабильную работу двигателя, уменьшение расхода масла и повышение общего ресурса цилиндро-поршневой группы.

Кроме того, полученные данные могут применяться для диагностики и оценки состояния поршневых колец в работающих двигателях. Сравнение фактических характеристик с теоретическими или расчетными моделями позволяет выявлять

аномалии в распределении давления, указывающие на износ кольца, деформацию канавки полости поршня или нарушения процесса смазывания. Это важно как для сервисного обслуживания, так и для разработки методик прогнозирования ресурса двигателя.



а) традиционное компрессионное поршневое кольцо

б) конструкции из двух полуколец

Рисунок 1. Эпюра давления компрессионного кольца на зеркало цилиндра

Не менее значимой является возможность использования результатов исследования при разработке усовершенствованных методик расчёта давления для двигателей, работающих в различных климатических и эксплуатационных условиях. Учитывая влияние температуры, скорости поршня, давления газов и состава смазочных материалов, можно создавать точные модели, позволяющие повысить эффективность проектирования и испытаний новых изделий.

Для углубленного понимания процессов, происходящих в зоне контакта «кольцо—цилиндр», целесообразно проводить дополнительные исследования. К ним относятся экспериментальные исследования, подтверждающие корректность теоретических построений и численных моделей, а также анализ влияния температуры и свойств смазки, поскольку термические деформации и толщина смазочной плёнки существенно влияют на эпюру давления. Кроме того, важно учитывать долговечность поршневых колец при различных режимах работы, что позволяет определить реальные ресурсы конструкции.

Равномерная эпюра давления, характерная для конструкции из двух полуколец, играет важную роль в снижении локальных перегрузок, уменьшении трения и стабилизации тепловых процессов. Это обеспечивает значительное улучшение долговечности элементов цилиндро-поршневой группы, повышение ресурса двигателя и увеличение его общей эффективности, что является особенно актуальным для современных силовых агрегатов, работающих при повышенных нагрузках и температурах.

Заключение

Проведённый теоретический анализ показал, что применение конструкции компрессионного поршневого кольца, выполненного в виде двух полуколец, обладает существенными преимуществами по сравнению с традиционным цельным кольцом. Основным отличием является значительно более равномерное распределение давления по стенке цилиндра, что было установлено на основе анализа эпюры давления и подтверждено

расчётными моделями. Отсутствие выраженных зон пиковых нагрузок позволяет снизить вероятность локального перегрева, уменьшить механические напряжения и предотвратить ускоренный износ цилиндро-поршневой группы.

Равномерная эпюра давления способствует улучшению условий трения и формирования смазочной плёнки, что положительно влияет на тепловой режим и устойчивость работы двигателя в различных условиях эксплуатации. Благодаря снижению локальных перегрузок применение конструкции из двух полуколец может обеспечить увеличение ресурса двигателя, уменьшение потерь на механическое трение и повышение общей герметичности камеры сгорания. Это особенно важно для современных силовых установок, работающих при высоких температурах, давлениях и частотах вращения.

Полученные результаты обладают практической значимостью и могут быть использованы при проектировании новых типов поршневых колец, оптимизации существующих конструкций и разработке методик анализа контактных давлений. Внедрение данных рекомендаций позволит повысить эффективность, экономичность и надёжность двигателей внутреннего сгорания.

Вклад авторов

Каукаров А.К. — постановка научной задачи, сбор и анализ теоретических данных, написание основного текста статьи, формирование выводов и научных рекомендаций, координация совместной работы авторского коллектива.

Жаманбаев Б.У. — участие в разработке концепции исследования, оценка влияния геометрических и упругих параметров на эпюру давления, редактирование текста статьи, формирование научной интерпретации результатов.

Кокаев У.Ш. — сбор и систематизация справочных данных по цилиндро-поршневым группам, участие в анализе факторов, влияющих на давление и износ в зоне контакта «кольцо–цилиндр».

Сауханов Н.С. — подготовка графических материалов (эпюр давления, схем), участие в анализе распределения нагрузок и факторов трения, участие в обсуждении результатов и формулировании инженерных рекомендаций.

Бегимкулова Э.А. — участие в разработке концептуальной части исследования, формировании методологии сравнения традиционного поршневого кольца и конструкции из двух полуколец, обеспечение корректности формулировок и научного стиля

Список литературы

1. Устройство и работа поршневых ДВС: учеб. пособие / авт.-сост.: В. М. Басуров, В. С. Клевцов; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2020. – 131 с.
2. Чайнов Н. Д. Конструирование и расчет поршневых двигателей: учебник для вузов/ Н. Д. Чайнов, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков; под ред. Н. Д. Чайнова. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 536 с.: ил.
3. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / А.И.Колчин, В.П.Демидов. – 4-е изд., стер. – М.: Высш.шк., 2008 – 496 с.: ил.
4. Иванов А.А., Петров, В.В. (2020). Влияние геометрии поршневых колец на

давления и износ стенок цилиндра. Журнал «Двигателестроение», 45(3), 12-18.

6. Сидоров, И.Н., Кузнецов, Д.М. (2021). Новая конструкция поршневого кольца для снижения трения и износа в ДВС: материалы международной конференции "Современные технологии в машиностроении", 78-85.
7. Smith, J. R., Brown, T. L. Advanced Piston Ring Designs for Improved Engine Performance // International Journal of Engine Research. – 2018. – Vol. 19. – № 5. – P. 512-525.
8. Zhang, Y., Wang, H. Numerical Analysis of Piston Ring-Cylinder Contact Pressure Distribution // Tribology International. – 2021. – Vol. 153. – P. 106-115.
9. Жернаков В.С. Сопротивление материалов – механика материалов и конструкций: учебник. – Уфа: УГАТУ, 2012. – 495 с.
10. Гинцбург Б.Я. Теория и расчет поршневых колец. М.: Машиностроение, 1945. - 127 с.
11. Скарборо Дж. Численные методы математического анализа, ГТТИ. 1934.
12. Nuralin B., Kuanyshev M., Murzagaliev A., Kaukarov A., Utebayev I. Evaluation of the ratios of the main indicators of The dry sealing of the cylinder-piston group of internal Combustion engines using a solid lubricant // Transport problems – 2022 – Vol. 17. – P. 99-110.
13. Каукаров А., Бакыт Г., Жаманбаев Б., Саменов Г., Забиева А., Сауханов Н. (2024). Повышение износостойкости и эффективности работы поршневого уплотнения двигателей внутреннего сгорания. Вестник ЕНУ. Серия: Технические науки и технологии, 148(3), 253–264. <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-253-264>

А.К. Каукаров^{*1}, Б.У. Жаманбаев², У.Ш. Кокаев², Н.С. Сауханов¹, Э.А. Бегимкулова³

¹*Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.*

²*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.*

³*Мұхамеджан Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*

Іштен жану қозғалтқышының цилиндріндегі компрессиялық поршеньдік сақиналарының қысымының таралуын салыстырмалы талдау

Аңдатпа. Мақалада іштен жанатын қозғалтқыштың цилиндр қабырғасына түсетін меншікті қысымның дәстүрлі компрессиялық поршеньдік сақина және екі жартысақинадан тұратын балама конструкция арқылы қалыптасуын салыстырмалы талдау ұсынылған. Зерттеудің негізгі бағыты — поршеньдік сақина мен цилиндр қабырғасы арасындағы жанасу қысымының қалыптасу және таралу теориялық аспектілерін талдау. Цилиндрге орнату кезіндегі сақинаның кернеулі-деформациялық күйін сипаттайтын математикалық модельдер келтірілген, сондай-ақ материал серпімділігін есепке алмай екі жартысақинаның қысымын есептеуге арналған жеңілдетілген тәсіл ұсынылған. Есептеулер нәтижесінде тұтас сақинада қысым эпюрасының біркелкі еместігі, яғни кейбір аймақтарда пиковое мәндердің болуы анықталды, бұл цилиндр-поршень тобы элементтерінің жылдам тозуына ықпал етуі мүмкін. Ал екі жартысақиналы конструкция үшін қысым біркелкі таралып, цилиндр қабырғасына тұрақты жүктеме түсіретіні байқалды. Бұл өз кезегінде жергілікті артық күштерді, үйкеліс пен жылулық деформацияны азайтады. Фурье қатары бойынша аппроксимация және графикалық тәуелділіктер модельдің нақты пайдалану жағдайларымен жақсы үйлесетінін көрсетеді. Сондай-ақ, жану камерасының герметикалығын арттырып, қозғалтқыштың қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік

беретін сақиналардың материалы мен геометриялық параметрлерін таңдауға қатысты ұсыныстар берілген. Екі жартысақинадан тұратын конструкцияны қолдану ІЖҚ поршеньдік сақиналарын жетілдірудің перспективалық бағыты ретінде қарастырылады. Мақаладағы материалдар инженерлерге, зерттеушілерге және ЦПГ элементтерін жобалаушыларға пайдалы бола алады.

Түйін сөздер: іштен жанатын қозғалтқыш, компрессиялық поршеньдік сақиналар, жарты сақиналар, қысым эпюрасы, меншікті қысым.

A.K. Kaukarov¹, B.U. Zhamanbayev², U. Sh. Kokayev², N.S. Saukhanov¹, E.A. Begimkulova³

¹*Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Republic of Kazakhstan, Aktobe*

²*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana*

³*«ALT University named after Mukhamedzhan Tynyshpayev, Republic of Kazakhstan, Almaty*

Comparative analysis of pressure distribution of compression piston rings in an internal combustion engine cylinder

Abstract. The article presents a comparative analysis of the specific pressure exerted on the cylinder wall by a traditional compression piston ring and an alternative design consisting of two half-rings. The study focuses on the theoretical aspects of the formation and distribution of contact pressure between the piston ring and the cylinder wall. Mathematical models describing the stress-strain state of the ring when installed in the cylinder are provided, along with a simplified approach to calculating pressure for the two half-ring design without considering material elasticity. The calculations revealed that the traditional solid ring produces a non-uniform pressure diagram with peak values, which may contribute to accelerated wear of cylinder-piston group (CPG) components. In contrast, the pressure distribution generated by the two half-ring configuration is uniform, ensuring consistent load on the cylinder wall and reducing localized overloads, friction, and thermal deformations. The graphical dependencies and Fourier series approximations confirm the model's agreement with real-world operating conditions. The paper also offers recommendations for selecting ring materials and geometric parameters to improve combustion chamber sealing and extend engine life. The authors emphasize that the implementation of a two half-ring configuration represents a promising direction for the modernization of piston rings in internal combustion engines, particularly under conditions of increased temperature and mechanical stress. The findings of this study may be of interest to engineers, researchers, and developers involved in the design and analysis of CPG components.

Keywords: internal combustion engine, compression piston rings, half-rings, pressure diagram, specific pressure.

References

1. Ustrojstvo i rabota porshnevyyh DVS: ucheb. posobie / avt.-sost.: V. M. Basurov, V. S. Klevcov; Vladim. gos. un-t im. A. G. i N. G. Stoletovyyh. – Vladimir: Izd-vo VIGU, 2020. – 131 p.
2. Chajnov N. D. Konstruirovaniye i raschet porshnevyyh dvigatelej: uchebnik dlya vuzov/ N. D. CHajnov, A. N. Krasnokutskij, L. L. Myagkov; pod red. N. D. CHajnova. - Moskva: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Bauman, 2018. - 536 p.: il.

3. Kolchin A.I. Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej: Ucheb. Posobie dlya vuzov / A.I.Kolchin, V.P.Demidov. – 4-e izd., ster. – M.: Vyssh.shk., 2008 – 496 p.: il.
4. Ivanov A.A., Petrov, V.V. (2020). Vliyanie geometrii porshnevnyh kolec na raspredelenie davleniya i iznos stенок cilindra. ZHurnal "Dvigatelistroenie", 45(3), 12-18.
5. Sidorov I.N., Kuznecov, D.M. (2021). Novaya konstrukciya porshneвого kol'ca dlya snizheniya treniya i iznosa v DVS. Materialy mezhdunarodnoj konferencii "Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii", 78-85.
6. Smith J. R., Brown, T. L. Advanced Piston Ring Designs for Improved Engine Performance // International Journal of Engine Research. – 2018. – Vol. 19. – № 5. – P. 512-525.
7. Zhang, Y., Wang, H. Numerical Analysis of Piston Ring-Cylinder Contact Pressure Distribution // Tribology International. – 2021. – Vol. 153. – P. 106-115.
8. ZHernakov V.S. Soprotivlenie materialov – mekhanika materialov i konstrukcij: Uchebnik. – Ufa: UGATU, 2012. – 495 p.
9. Gincburg B.YA. Teoriya i raschet porshnevnyh kolec. M.: Mashinostroenie, 1945. - 127 p.
10. Skarboro Dzh. CHislenные metody matematicheskogo analiza, GTTI. 1934.
11. Nuralin B., Kuanyshev M., Murzagaliev A., Kaukarov A., Utebayev I. Evaluation of the ratios of the main indicators of The dry sealing of the cylinder-piston group of internal Combustion engines using a solid lubricant // Transport problems – 2022 – Vol. 17. – P. 99-110.
12. Kaukarov A., Bakyt G., ZHamanbaev B., Samenov G., Zabieva A., Sauhanov N. (2024). Povyshenie iznosostojkosti i effektivnosti raboty porshneвого uplotneniya dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Vestnik ENU seriya: Tekhnicheskie Nauki I Tekhnologii, 148(3), 253–264. <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-253-264>

Информация об авторах:

Каукаров А.К. – автор корреспондент, PhD, старший преподаватель кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства», АРУ им. К. Жубанова, Актобе, 030012, Республика Казахстан, e-mail: altynbek-79@mail.ru

Жаманбаев Б.У. – PhD, старший преподаватель кафедры «Транспорт, транспортная техника и технологии», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, 010012, Республика Казахстан, e-mail: zhaman78@mail.ru.

Кокаев У.Ш. – кандидат технических наук, доцент. Декан транспортно-энергетического факультета, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, 010012, Республика Казахстан, e-mail: kokayev_ush@enu.kz.

Сауханов Н.С. – к.т.н., доцент кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства», АРУ им. К. Жубанова, Актобе, 030012, Республика Казахстан, e-mail: nurgazy.saukhanov@mail.ru.

Бегимкулова Э.А. – PhD, Заместитель директора по учебной работе института "Транспорт и строительство". АЛТ Университет им. М.Тынышпаева. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: eb_199292@mail.ru.

Каукаров А.К. – хат-хабар авторы, PhD, «Көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының аға оқытушысы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік

университеті, Ақтөбе, 030012, Қазақстан Республикасы, e-mail: altynbek-79@mail.ru, 87016541115

Жаманбаев Б.У. – PhD, «Көлік, көлік техникасы және технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, 010012, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhaman78@mail.ru

Кокаев У.Ш. – Көлік-энергетика факультетінің деканы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, 010012, Қазақстан Республикасы, e-mail: kokayev_ush@enu.kz

Сауханов Н.С. – техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының доценті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, 030012, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurgazy.saukhanov@mail.ru.

Бегимкулова Э.А. – PhD, "Көлік және құрылыс" институты директорының оқу ісі жөніндегі орынбасары. М.Тынышпаев атындағы АЛТ Университет. Алматы, 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: eb_199292@mail.ru.

Kaukarov A. K. - PhD, senior lecturer of the Department «Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction», ARU named after K. Zhubanov, Aktobe, 030012, Republic of Kazakhstan, e-mail: altynbek-79@mail.ru

Zhamanbayev B.U. - PhD, Senior lecturer of the Department of Transport, Transport Equipment and Technologies, ENU named after L.N. Gumilyov, Astana, 010012, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhaman78@mail.ru

Kokaev U.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Dean of the Faculty of Transport and Energy, L.N. Gumilyov ENU, Astana, 010012, Republic of Kazakhstan, e-mail: kokayev_ush@enu.kz.

Saukhanov N. S.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering, Organization of Transportation and Construction, ARU named after K. Zhubanov, Aktobe, 030012, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurgazy.saukhanov@mail.ru.

Begimkulova E.A. – PhD, Deputy Director for Academic Affairs at the Institute of Transport and Construction. ALT University named after M.Tynyshpaeva. Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: eb_199292@mail.ru.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).