



МРНТИ 55.42.27

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-253-264>

Научная статья

Повышение износостойкости и эффективности работы поршневого уплотнения двигателей внутреннего сгорания

А.К. Каукаров*¹, Г.Б. Бакыт², Б.У. Жаманбаев³, Г.К.Саменов³,
А.Б.Забиева³, Н.С. Сауханов¹

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

² Mukhametzhan Tynysbayev ALT University, Алматы, Казахстан

³ Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: *altynbek-79@mail.ru)

Аннотация. В статье исследуются особенности работы поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания и предлагается новая конструкция для повышения их износостойкости и эффективности. Поршневое кольцо критично для герметизации камеры сгорания, может создавать трение, которое влияет на долговечность двигателя и его эффективность. В условиях высокой нагрузки и частого износа важность улучшения конструктивных решений становится очевидной.

Предложенная конструкция поршневого кольца включает инновационное использование графита в качестве твердой смазки для снижения трения и улучшения герметичности. В результате изменений в конструкции, основанных на графитовой основе и ступенчатых стыках, достигнуто значительное снижение потерь на трение и улучшение герметизации. Испытания на опытной установке подтвердили эффективность предложенной конструкции, показав снижение трения и потерь энергии, что положительно сказалось на сроке службы двигателя и его общей производительности.

Полученные результаты демонстрируют перспективность применения предложенного решения как для традиционных двигателей, использующих моторное масло, так и для двигателей с безмасляным картером. В дальнейшем планируется создание стенда для более детального тестирования и оптимизации конструкции поршневых полуколец, что поможет обеспечить максимальные рабочие характеристики и долговечность двигателей.

Ключевые слова: поршневые кольца, двигатель внутреннего сгорания, сухое поршневое уплотнение, графитовый слой, трение компрессионных колец.

Поступила 14.09.2024. Доработана 15.09.2024. Одобрена 16.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

¹*автор для корреспонденции

Введение

Двигатель внутреннего сгорания, являющийся одним из символов второй промышленной революции, продолжает играть важную роль в различных отраслях, особенно в транспортном секторе. В Казахстане спрос на автомобили с двигателями внутреннего сгорания остается высоким. Одним из ключевых элементов работы таких двигателей является герметизация камеры сгорания, которую обеспечивает поршень. Это уплотнение создается с помощью поршневого кольца, установленного в канавке поршня. Поршневое кольцо – важнейший компонент, отвечающий за герметизацию пространства между поршнем и стенкой цилиндра, что позволяет добиться эффективного сгорания топлива и максимальной производительности двигателя.

Однако при этом поршневые кольца создают трение, двигаясь возвратно-поступательно вдоль стенок цилиндра для поддержания герметичности. Из-за компактной конструкции двигателя и сложных условий эксплуатации, взаимодействие поршневого кольца с цилиндром становится критическим фактором, влияющим на долговечность двигателя внутреннего сгорания. Износ поршневых колец может привести к неполному сгоранию топлива, что увеличивает расход топлива и выбросы. Поэтому конструкция поршневых колец имеет важное значение [1]. Износ механических компонентов в процессе эксплуатации сильно влияет на долговечность машин во многих отраслях [2]. Соответственно, исследование износостойкости поршневых колец давно стало важным направлением для повышения срока службы двигателей внутреннего сгорания [3].

Основная задача поршневых колец – герметизация камеры сгорания, однако они не обеспечивают идеальной герметичности. Часть топливно-воздушной смеси может просачиваться в картер коленчатого вала, что известно как продувочный газ. Кроме того, часть этих газов может возвращаться в камеру сгорания (обратная продувка) и выбрасываться в виде несгоревших углеводородов. Продувка негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках двигателя, снижая пиковое давление [4], а также влияет на смазку и увеличивает выбросы масла в атмосферу [5-8].

Механические свойства материалов поршневых колец можно улучшить с помощью технологий модификации поверхности, которые значительно уменьшают трение в зоне контакта цилиндро-поршневой группы [9]. Например, такие методы, как нанесение циркониевой керамики на поршневые кольца с помощью плазменного напыления, помогают снизить износ [10]. Лазерная обработка в сочетании с добавлением керамических зерен для обработки поверхности эффективно повышает износостойкость и снижает трение поршневых колец [11]. Также нанесение алмазоподобного углеродного покрытия методом физического осаждения из паровой фазы приводит к значительному снижению коэффициента трения [12].

Двигатель внутреннего сгорания функционирует как тепловой двигатель, в котором тепло, выделяющееся при сгорании топливно-воздушной смеси, преобразуется в механическую мощность. Ключевым элементом в этой системе является цилиндро-поршневая группа, где износ имеет критическое значение, так как потери энергии приводят к неисправностям двигателя [13]. Потери на трение в двигателе составляют от

4 до 15% расхода топлива [14]. При этом около 75% этих потерь приходится на цилиндро-поршневую группу, из которых более половины связаны с поршневыми кольцами. Таким образом, улучшение трения между поршневым кольцом и гильзой цилиндра представляет собой значительный потенциал для повышения общей эффективности и увеличения срока службы двигателей внутреннего сгорания [15].

В ходе данного исследования были изучены поршневые кольца и механические потери, связанные с ними. Мы обнаружили, что разработанный прототип, направленный на снижение трения, продемонстрировал отличные характеристики по снижению сопротивления и сдвига.

Методология

Для увеличения ресурса цилиндро-поршневой группы предложен ряд мер, включая нанесение графитового покрытия на материал верхнего поршневого кольца, изменение его конструкции, а также получено авторское свидетельство (см. рис. 1).

Разработана конструкция уплотнительных колец с контактной поверхностью, на которую нанесено графитовое покрытие [16]. Применение графита в качестве твердой смазки было выбрано таким образом, чтобы его влияние на триботехнические свойства металлического материала обеспечивало аналогичный эффект, способствуя прочной связи между элементами и снижению износа контактирующих поверхностей. Для стали, графита и материалов, изготовленных на его основе, коэффициент трения составляет 0,15–0,20 [4].

На рис. 1 проиллюстрированы разрез полукольца на графитовой основе: металл (бронза и сталь) 1 и графитовое заполнение 2. На рис. 2 проиллюстрирован вид кольца, где: 1 – зазор между полукольцами; 2 – ширина полукольца; 3 – скользящая поверхность стыковки.

В разработанной конструкции два полукольца из бронзы или стали размещены в модифицированной кольцевой канавке поршня. Полукольца соединены через ступенчатое соединение в вертикальной плоскости, при этом первое полукольцо расположено под углом 90° относительно второго. Для обеспечения контакта со стенкой цилиндра полукольца прижимаются пружинами. При износе ступенчатых колец зазор в ступенчатых соединениях увеличивается, и полукольца скользят друг по другу, пока не достигнут предельных допустимых размеров, предотвращая прохождение газов через замки колец в пространство под ними (см. рис. 2).

Целью предлагаемого конструкторского решения является предотвращение прохождения газов через ступенчатые замки с половинным кольцом, что позволяет увеличить сжатие в цилиндре и обеспечить работу поршневых колец в режиме граничной смазки при плохой системе смазки.

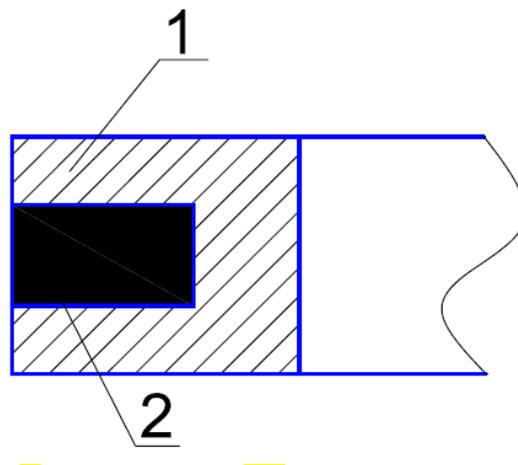


Рисунок 1. Вид в разрезе полукольца на графитовой основе

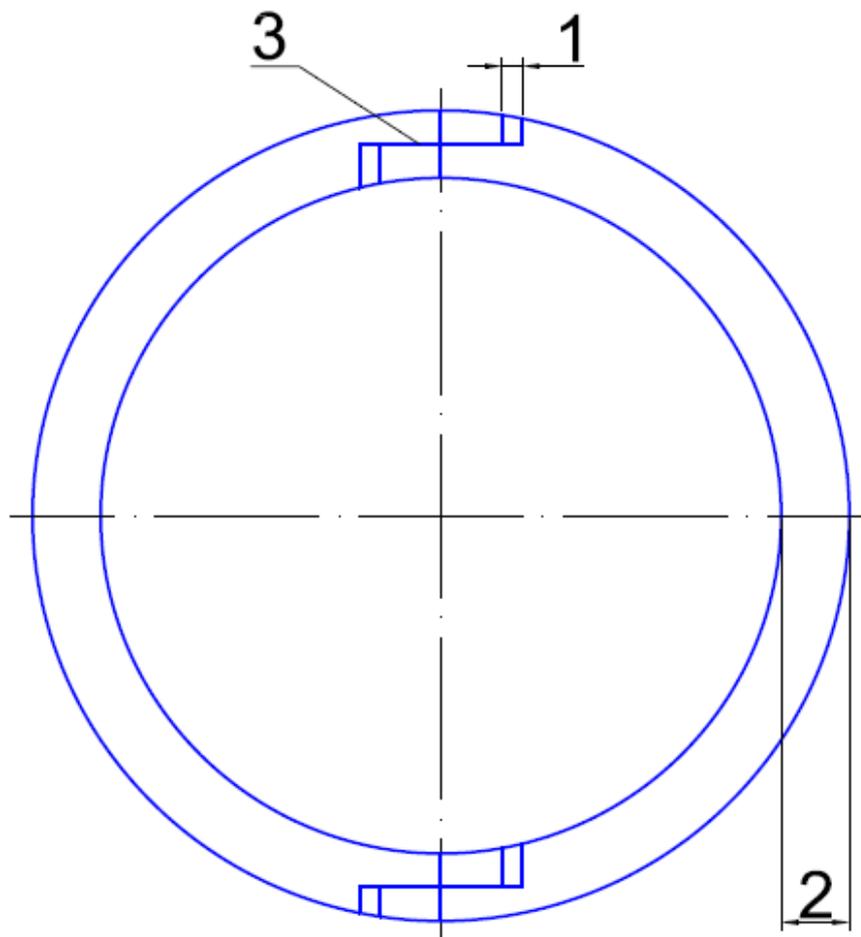


Рисунок 2. Конструкция стыковки полуколец

Данная функция реализуется за счёт графитовой основы, которая предназначена для накопления смазочных свойств и их равномерного распределения по поверхности цилиндровой втулки при граничном перемещении поршня. Ступенчатое замковое отверстие кольца было спроектировано таким образом, чтобы обеспечить тепловой зазор, необходимый для компенсации линейного расширения металла при повышении температуры.

Конструкция предназначена для предотвращения проникновения газов через поршневое кольцо и замок на такте сгорания, за которым следует такт расширения в нижнее пространство поршня. Это достигается плотным прилеганием первого кольца ко второму, что полностью блокирует потерю выхлопных газов под высоким давлением из камеры сгорания. Такая конструкция также помогает устранить вибрацию, возникающую на концах замка кольца, благодаря плотному прилеганию компрессионных колец.

Отличие полукольца от традиционного кольца состоит в том, что для обеспечения плотного прилегания цилиндрической поверхности кольца они должны быть свободно подвижными, что обеспечивается использованием пружин. Учитывая температурное расширение в процессе горения, кольца устанавливаются в кольцевую канавку поршня с учетом этого фактора. При перемещении поршня вверх и вниз кольца прижимаются к верхней или нижней торцевой поверхности кольцевой канавки из-за трения.

В процессе горения топливной смеси в камере сгорания образуются газы высокого давления. Давление газа воздействует на верхнюю поверхность кольца, перемещая пакет колец вниз в пределах зазора. Газы проникают в зазор над верхним кольцом и заполняют внутреннюю полость кольца, что создаёт дополнительную силу прижатия колец к стенкам цилиндра, помимо давления пружин на зеркало цилиндра.

Принцип работы предлагаемой конструкции заключается в следующем: в такте сжатия поршень перемещается к верхней мертвой точке, что вызывает повышение давления. Давление равномерно распределяется по поверхности полукольца, сжимая его к стенкам цилиндра с помощью как давления, так и пружины. Чтобы предотвратить утечку давления над поршнем, ступенчатые замки полукольца расположены под углом 90° друг к другу (см. рис. 1). Это конструктивное решение минимизирует прохождение выхлопных газов благодаря сопротивлению, создаваемому ступенчатым соединением полукольца.

Такое расположение замков обеспечивает эффективное уплотнение и предотвращает потерю давления, даже при увеличении кольцевого замка, что учитывает возможный износ внешних поверхностей частичного кольца. В полукольце выполнены канавки для графитового материала, которые создают смазочную пленку на поверхности цилиндра.

Аналогичная картина наблюдается и при перемещении поршня к нижней мёртвой точке.

Результаты исследования

Данная конструкция испытана на опытной установке с двигателем УД-2М мощностью 5,89 кВт и частотой вращения 3000 мин^{-1} . После демонтажа поршней была проведена

расточка канавок под поршневые полукольца до устранения износа кромок. Затем были выполнены замеры потерь на трение. Для установки в расточенные канавки использовались поршневые кольца, доработанные по форме и высоте, с графитовым покрытием (см. рис. 1 и 2). Традиционное второе компрессионное кольцо было удалено, поскольку высота доработанного кольца увеличена вдвое. В остальные канавки установлены стандартные маслосъемные кольца без модификаций.

Площадь контакта колец увеличилась с $1,8D$ до $4D$ за счет применения графитовой смазки и замены двух поршневых колец на одно полукольцо. Удельное давление компрессионных колец уменьшилось с 5 до $0,2 \text{ кг/см}^2$. Коэффициент трения без использования моторного масла составил 0,2.

По расчетам, потери на трение между цилиндром и поршнем даже без смазки составляют лишь около 15% от общих потерь на трение в цилиндро-поршневой группе двигателя. В традиционных двигателях потери на трение колец о стенки цилиндра составляют 36% от всех механических потерь. Энергозатраты на сдвиг колец в стандартной цилиндропоршневой группе составляют 50% от всех механических потерь.

Разработанная конструкция демонстрирует меньшее усилие для преодоления трения сдвига, что приводит к снижению энергозатрат по сравнению с традиционными поршневыми кольцами. Эти затраты составляют 58% при смазке и 15% без нее. Величина усилий сдвига поршня, измеренная по 10 замерам для стандартного поршня с комплектом компрессионных и маслосъемных колец, а также для цилиндра с поршнем с сухим уплотнением и графитовыми кольцами, представлена на рис. 4. Эти замеры позволяют проанализировать динамику трения в зависимости от различных условий уплотнения, обеспечивая точное сравнение между традиционным и модернизированным вариантами.



Рисунок 3. Величина усилий сдвига поршня со стандартным и сухим уплотнением

Результаты измерения силы трения в этой цилиндро-поршневой группе проводились методом сборки и разборки двигателя с целью определения. В заключение было признано, что результаты в целом являются удовлетворительными, и это позволяет рассматривать возможность дальнейшей эксплуатации данной конструкции. Таким образом, можно с уверенностью говорить о положительном влиянии предложенной конструкции на ресурс двигателя.

Заключение

1. В процессе горения, расширения и сжатия. Это достигается за счет ступенчатого стыка расположения двух полуколец, размещённых в одной расширенной поршневой канавке. При износе наружная поверхность этих колец сохраняет сжимающие свойства благодаря пружине со ступенчатыми соединениями. Такая конструкция предотвращает утечку выхлопных газов, снижает трение между кольцами и цилиндром, что, в свою очередь, повышает полезную мощность двигателя. Результаты экспериментальных измерений подтверждают увеличение срока службы деталей цилиндро-поршневой группы.

2. Конструкция применима как для традиционных двигателей с использованием смазки цилиндра моторным маслом, так и для двигателей с безмасляным картером, работающих с применением твердой смазки.

3. Конструкция полукольца при работе двигателя обеспечивает плотный контакт со стенкой цилиндра благодаря прижиму пружиной, что гарантирует постоянный герметичный контакт и исключает необходимость дополнительного усилия прижатия кольца к поверхности гильзы. Это, в свою очередь, минимизирует трение и снижает износ колец и гильзы.

4. В настоящее время разрабатывается стенд для проведения дополнительных испытаний, чтобы получить полную информацию о предлагаемой конструкции. С помощью стенда планируется определить оптимальность конструкции поршневых полуколец для обеспечения максимальных рабочих характеристик двигателя, таких, как увеличение давления сжатия и мощности двигателя.

Список литературы

1. Dziubak T., Dziubak S.D. A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation // *Energies*. – 2022. – 15(3):1182.
2. Du F., Li D., Hao M., Yu Y., Wang W. Simulation and Experimental Research on the Failure of Marine Sliding Bearings // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – 11(1):61
3. Delprete C., Razavykia A. Piston ring–liner lubrication and tribological performance evaluation: A review. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.* – 2018. 232. 193–209.
4. Zhao J.X., Lee Chia-fon F. Modeling of blow-by in a smallbore high-speed direct-injection optically accessible diesel engine // *SAE Technical Paper*. – 2006.

5. Froelund K., Yilmaz E. Impact of engine oil consumption on particulate emissions // In: ICAT international conference on automotive technology. – Istanbul, Turkey, – 2004.
6. Green R.M, Cloutman L.D. Planar LIF observations of unburned fuel escaping the upper ring-land crevice in an SI engine // SAE Technical Paper. – 1997.
7. Alkidas A.C.: Combustion-chamber crevices: the major source of engine-out hydrocarbon emissions under fully warmed conditions // Prog Energy Combust Sci. – 1999. - 25(3). – P. 253–273.
8. Arnault N, Bonne S. Engine lube-oil consumption stakes and benefits from significant blow-by oil mist reduction // SAE Technical Paper. – 2012.
9. Bolander N.W., Sadeghi F. Surface Modification for Piston Ring and Liner; Springer: Dordrecht, The Netherlands. – 2006.
10. Jayanth P., Sangeethkumar E. Investigation and Analysis of Wear Reduction in Piston Rings through Coating. Appl. Mech. Mater. – 2015. – P. 813–814.
11. Hui, W., Xia, W., Jin Y. A study on abrasive resistance of Ni-based coatings with a WC hard phase. Wear. – 1996. – 195. – P.47–52.
12. Tung S.C., Gao H. Tribological Investigation of Piston Ring Coatings Operating in an Alternative Fuel and Engine Oil Blend // Tribol. Trans. – 2002. – 45. – P.381–389.
13. Holmberg K., Andersson P., Erdemir A. Global energy consumption due to friction in passenger cars // Tribol. Int. – 2012. – 47. 221–234.
14. Wong W., Tung C. Overview of automotive engine friction and reduction trends–effects of surface, material, and lubricant-additive technologies // Friction – 2016. – 4. – P.1–28.
15. Taylor C.M. Automobile engine tribology-design considerations for efficiency and durability // Wear – 1998. – 221. – P.1–8.
16. 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.
17. Болсуновская Т.А., Ефимочкин И.Ю., Севостьянов Н.В., Бурковская Н.П. Влияние марки графита в качестве твердой смазки на триботехнические свойства металлического композиционного материала // Труды ВИАМ. – 2018. – №7 (67).

Вклад авторов

А.К. Каукаров – концепция, методология, корректировка, получение финансирования.

Г.Б. Бақыт – разработка программы, проведение эксперимента, сбор и обработка данных.

Б.У. Жаманбаев – моделирование, интерпретация, обработка результатов.

Г.К.Саменов – визуализация, анализ, получение финансирования.

А.Б.Забиева, Н.С.Сауханов – обзор существующих технологии, исследование состояние проблемы, выводы.

А.К. Каукаров*¹, Ғ.Б. Бақыт², Б.У. Жаманбаев³, Г.К.Саменов³, А.Б.Забиева³, Н.С. Сауханов¹

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

²Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Іштен жану қозғалтқыштарының поршеньдік тығыздағыш жұмысының тозуға төзімділігі мен тиімділігін арттыру

Аңдатпа. Мақалада ішкі жану қозғалтқыштарындағы поршеньдік сақиналардың жұмыс ерекшеліктері зерттеліп, олардың тозуға төзімділігі мен тиімділігін арттыру үшін жаңа конструкция ұсынылған. Жану камерасын тығыздау үшін поршеньдік сақина маңызды, ол қозғалтқыштың беріктігі мен тиімділігіне әсер ететін үйкеліс тудыруы мүмкін. Жоғары жүктеме және жиі тозу жағдайында конструкторлық шешімдерді жақсартудың маңыздылығы айқын болады.

Ұсынылған поршеньдік сақина конструкциясы үйкелісті азайту және тығыздауды жақсарту үшін графитті қатты майлаушы ретінде инновациялық пайдалануды қамтиды. Графит негізіндегі және сатылы буындарға негізделген конструкциядағы өзгерістер үйкеліс шығындарының айтарлықтай төмендеуіне және тығыздаудың жақсаруына қол жеткізді. Тәжірибелік қондырғыдағы сынақтар ұсынылған конструкцияның тиімділігін растады, үйкеліс пен энергия шығынының төмендеуін көрсетті, бұл қозғалтқыштың қызмет ету мерзіміне және оның жалпы өнімділігіне оң әсер етті.

Нәтижелер қозғалтқыш майын пайдаланатын дәстүрлі қозғалтқыштар үшін де, майсыз жұмыс істейтін қозғалтқыштар үшін де ұсынылған конструкторлық шешімді қолдану перспективасын көрсетеді. Болашақта поршеньді жартылай сақиналардың конструкциясын тереңірек зерттеу және оңтайландыру үшін стенд құру жоспарлануда, бұл қозғалтқыштардың максималды өнімділігі мен беріктігін қамтамасыз етуге көмектеседі.

Түйін сөздер: Поршеньдік сақиналар, Іштен жану қозғалтқышы, құрғақ поршеньді тығыздағыш, графит қабаты, сығымдау сақиналарының үйкелісі.

A.K. Kaukarov*¹, G.B. Bakyt, B.U. Zhamanbayev³, G.K.Samenov³, B.U. Zabayeva³, N.S. Saukhanov¹

¹Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

²Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan

³The L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Improvement of wear resistance and efficiency of piston internal combustion engine

Abstract. The article examines the specific features of piston ring operation in internal combustion engines and proposes a new design to improve their wear resistance and efficiency. The piston ring, critical for sealing the combustion chamber, can create friction that affects the engine's durability and efficiency. Under conditions of high load and frequent wear, the importance of improved design solutions becomes evident.

The proposed piston ring design includes the innovative use of graphite as a solid lubricant to reduce friction and enhance sealing. As a result of these design changes, based on a graphite coating

and stepped joints, significant friction loss reduction and improved sealing were achieved. Tests on a prototype confirmed the effectiveness of the proposed design, showing reduced friction and energy loss, which positively impacted engine lifespan and overall performance.

The results demonstrate the potential of the proposed solution for both traditional engines using motor oil and oil-free engines. Future plans include creating a test stand for more detailed testing and optimization of the piston ring segments, which will help ensure maximum engine performance and durability.

Keywords: Piston rings, Internal combustion engine, dry piston seal, graphite coating, compression ring friction.

References

1. Dziubak T, Dziubak S.D. A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation // *Energies*. – 2022. – 15(3):1182.
2. Du F, Li D, Hao M, Yu Y, Wang W. Simulation and Experimental Research on the Failure of Marine Sliding Bearings // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – 11(1):61
3. Delprete C, Razavykia A. Piston ring–liner lubrication and tribological performance evaluation: A review. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.* – 2018. 232. 193–209.
4. Zhao J.X., Lee Chia-fon F. Modeling of blow-by in a smallbore high-speed direct-injection optically accessible diesel engine // *SAE Technical Paper*. – 2006.
5. Froelund K, Yilmaz E. Impact of engine oil consumption on particulate emissions // In: ICAT international conference on automotive technology. – Istanbul, Turkey, – 2004.
6. Green R.M, Cloutman L.D. Planar LIF observations of unburned fuel escaping the upper ring-land crevice in an SI engine // *SAE Technical Paper*. – 1997.
7. Alkidas A.C.: Combustion-chamber crevices: the major source of engine-out hydrocarbon emissions under fully warmed conditions // *Prog Energy Combust Sci.* – 1999. - 25(3). – P. 253–273.
8. Arnault N, Bonne S. Engine lube-oil consumption stakes and benefits from significant blow-by oil mist reduction // *SAE Technical Paper*. – 2012.
9. Bolander N.W, Sadeghi F. *Surface Modification for Piston Ring and Liner*; Springer: Dordrecht, The Netherlands. – 2006.
10. Jayanth P, Sangeethkumar E. Investigation and Analysis of Wear Reduction in Piston Rings through Coating. *Appl. Mech. Mater.* – 2015. – P. 813–814.
11. Hui, W, Xia, W, Jin Y. A study on abrasive resistance of Ni-based coatings with a WC hard phase. *Wear*. – 1996. – 195. – P.47–52.
12. Tung S.C., Gao H. Tribological Investigation of Piston Ring Coatings Operating in an Alternative Fuel and Engine Oil Blend // *Tribol. Trans.* – 2002. – 45. – P.381–389.
13. Holmberg K, Andersson P, Erdemir A. Global energy consumption due to friction in passenger cars // *Tribol. Int.* – 2012. – 47. 221–234.
14. Wong W, Tung C. Overview of automotive engine friction and reduction trends–effects of surface, material, and lubricant-additive technologies // *Friction* – 2016. – 4. – P.1–28.
15. Taylor C.M. *Automobile engine tribology-design considerations for efficiency and durability* // *Wear* – 1998. – 221. – P.1–8.

16. 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.

17. Bolsunovskaya T.A., Efimochkin I.Yu., Sevostyanov N.V., Burkovskaya N.P. Influence of graphite grade as a solid lubricant on tribotechnical properties of a metal composite material // Proceedings of VIAM. – 2018. – №7 (67).

Сведения об авторе (авторах):

Каукаров А.К. – хат-хабар авторы, «Көлік техникасы, тасымалды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының аға оқытушысы, Техникалық факультеті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

Бақыт Ғ.Б. – PhD, қауымдастырылған профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан

Жаманбаев Б.У. – PhD, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Саменов Г.К. – техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Забиева А.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

Сауханов Н.С. – техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік техникасы, тасымалды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының доценті, Техникалық факультеті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Каукаров А.К. – автор для корреспонденции, старший преподаватель кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительство», технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актөбе, Казахстан.

Бақыт Г.Б. – PhD, ассоциированный профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Казахстан.

Жаманбаев Б.У. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Саменов Г.К. – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Забиева А.Б. – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Сауханов Н.С. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительства» Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актөбе, Казахстан.

Kaukarov A.K. – corresponding author, master, senior lecturer of the Department "Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction", NAO ARU named after K.Zhubanov. Aktobe, Kazakhstan

Bakyt G.B. – PhD, associate professor, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan

Zhamanbayev B.U. – PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan.

Samenov G.K. – candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan

Zabieva A.B. – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str.2, Astana, Kazakhstan.

Saukhanov N.S. – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering, Organization of Transportation and Construction of the ARU named after K. Zhubanov. Aktobe, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 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/>).