

УДК 62-242.3  
DOI: 10.37890/jwt.vi84.619

## **Разработка стенда для определения сил трения в деталях цилиндропоршневой группы судового дизеля**

**С. Ю. Курицын**  
*ORCID: 0009-0001-8061-4656*

**Ю. И. Матвеев**

**А. В. Соловьев**

<sup>1</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Поршневые кольца относятся к деталям, непосредственно влияющим на технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели двигателя. Основная функция поршневых колец заключается в создании герметичности камеры сгорания. Выполнение данной задачи осуществляется в трудных условиях (знакопеременные нагрузки и скорость движения поршня, высокая температура, сила трения и др.). Поршневые кольца оказывают влияние не только на мощность, но и на КПД двигателя, который во многом зависит от эффективности сгорания топлива, тепловых и механических потерь, связанных с силой трения. На долю поршневых колец приходится порядка 40-50% от всех потерь на трение в двигателе. И поскольку ДВС (двигатель внутреннего сгорания) является неотъемлемым атрибутом современной жизни, большинство научных исследований посвящено уменьшению воздействия различных факторов, влияющих на КПД дизеля, на эффективность и на его ресурс при эксплуатации. В судовых условиях определить силу трения деталей цилиндропоршневой группы очень сложно. Поэтому для измерения значений силы трения в работе, разработан стенд, позволяющий произвести оценку взаимодействия поршневых колец с «зеркалом» цилиндра судового двигателя внутреннего сгорания. Исследование выполнено в рамках реализации научно-исследовательского проекта по формированию информационно-технологической платформы «Флот-Сервис-Судоремонт» для судов внутреннего и река-море плавания» (Шифр научной темы 06/ГЗ-2025-05).

**Ключевые слова:** Поршневые кольца, стенд, двигатель внутреннего сгорания, износ, поршень, уплотнение, эпюра давлений, трение, смазка, втулка цилиндра.

## **Development of a stand for determining the friction forces in the details of the cylinder piston group of marine diesel**

**Sergey Y. Kuritsyn**  
*ORCID iD: 0009-0001-8061-4656*

**Yuri I. Matveev**

**Alexey V. Solovyov**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Piston rings are parts that directly affect the technical, operational and economic performance of the engine. The main function of piston rings is to ensure the tightness of the combustion chamber. This task is performed under difficult conditions (alternating loads and the speed of the piston, high temperature, friction, etc.). Piston rings affect not only the power, but also the efficiency of the engine, which largely depends on the efficiency of fuel combustion, thermal and mechanical losses associated with friction. Piston rings account for about 40-50% of all friction losses in the engine. And since the internal combustion engine (internal combustion engine) is an integral attribute of modern life, most scientific research is devoted to reducing the impact of various factors affecting diesel efficiency, efficiency and its service life. It is very difficult to determine the friction force of the cylinder piston group

parts in ship conditions. Therefore, to measure the values of the friction force in operation, a stand has been developed that makes it possible to evaluate the interaction of piston rings with the "mirror" cylinder of a marine internal combustion engine.

The research was carried out as part of a research project on the formation of the Fleet-Service-Ship Repair information technology platform for inland and river-sea navigation vessels (Scientific topic code 06/GZ-2025-05).

**Keywords:** Piston rings, stand, internal combustion engine, wear, piston, seal, pressure diagram, friction, lubrication, cylinder sleeve

### **Введение**

Развитие двигателестроения во многом определяется потребностью в разных областях жизнедеятельности человека. Двигатель внутреннего сгорания является одним из основных источников как для создания движения, так и генерации электричества в различных сферах: промышленности, транспорте, сельском хозяйстве и т.д. Основным направлением развития двигателей внутреннего сгорания является повышение мощности, при возможном уменьшении эксплуатационных затрат, к которым прежде всего относится расход топлива и масла. Техничко-экономические показатели, также технико-эксплуатационные показатели в основном зависят от эффективности уплотнения деталей цилиндропоршневой группы [1,2,3]. Поршневые кольца можно отнести к первостепенным деталям цилиндропоршневой группы, от которых зависит не только технико-экономические показатели, влияющие на мощность двигателя, но и надёжность эксплуатации двигателя. КПД обуславливается такими факторами как топливная эффективность, тепловые потери, и соответственно механические потери.

### **Методы исследования**

Топливная эффективность достигается следующими способами:

- полной сгорания;
- качественной регулировкой системы впрыска топлива;
- регулярным обслуживанием топливной системы;
- использованием топлива, предназначенного заводом строителем двигателя;
- эксплуатацией двигателя с очищенным топливом от механических примесей и воды;

Указанные способы во многом зависят от квалификации и ответственности обслуживающего персонала в машинном помещении.

Тепловые потери двигателя также можно уменьшить за счёт утилизации тепла от выпускных газов и воды внутреннего контура. Для отбора тепла от выпускных газов, на выхлопном трубопроводе от двигателя устанавливают утилизационные котлы, позволяющие обеспечить практически все потребители в ходовом режиме. Большинство современных судов, таких как RSD59 (постройка на верфях «Красное Сормово», «Окская судовой верфь», «Невский ССРЗ»), RSD-32M, (постройка на верфи «Окская судовой верфь»), PV300VD (постройка на верфи «Красное Сормово»), снабжены данными агрегатами. Утилизация тепла от внутреннего контура системы охлаждения дизеля менее эффективна, по сравнению с утилизацией от отработанных газов. Это связано с температурой теплоносителя. Если температура выхлопных газов высокооборотных дизелей достигает 600°C, то температура охлаждающей жидкости не превышает 95°C. Тем не менее, для увеличения КПД двигателя, проектами судов предусматривается отбор тепла от данной системы. В качестве примера можно привести экологическое судно проекта RT37, построенного Восточно-Сибирским Речным пароходством, где от системы охлаждения внутреннего контура дизель-

генераторов через теплообменные аппараты производится нагрев воды системы бытового водоснабжения и водяного отопления.

К механическим потерям относится сила трения, которая является причиной не только понижения КПД двигателя, но и факторами износа трущихся деталей [4,5]. Из всех пар трения двигателя можно выделить поршневые кольца – втулка цилиндра, которые работают, в отличие от других взаимодействующих звеньев, в трудных условиях (переменные нагрузки, высокая температура, сила трения). Потери на трение, при работе поршневых колец, приходятся до 50% от всех потерь трущихся деталей в двигателе [6].

Для уменьшения механических потерь фрикционной пары поршневые кольца – втулка цилиндра ведется много исследований по разным направлениям, такими как:

- поиск оптимальной формы поршневого кольца;
- влияние сил собственной упругости;
- нанесение различных покрытий на рабочую поверхность поршневого кольца;
- обеспечение равномерного и интенсивного смазывания трущихся поверхностей;

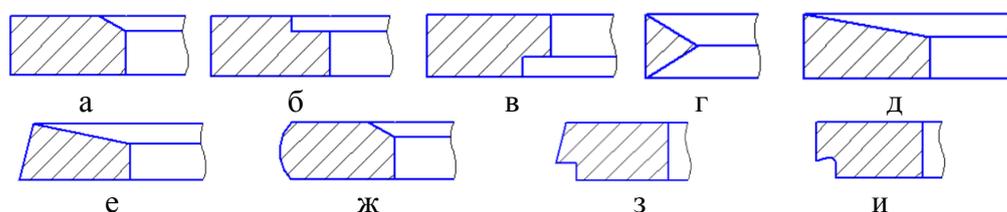


Рис. 1. Профили поршневых колец: а – прямоугольный; б – с верхним внутренним углом; в – с нижним внутренним углом; г – трапециевидный; д – несимметричный трапециевидный; е – конический; ж – бочкообразный; з – конический скребковый; и – скребковый

В настоящее время существует довольно большое количество разнообразных профилей поршневых колец (см. рисунок 1) каждый из которых разрабатывался для выполнения либо какой-то конкретной функции:

- снижение силы трения;
- снижений вибрации;
- увеличение отвода тепла от поршня (что актуально для поршней из алюминиевого сплава, не имеющего системы охлаждения);
- повышение износостойкости;
- лучшее распределение масла на поверхности «зеркала» цилиндра;
- защиты от заклинивания;

либо совмещений ряда функций, например трапециевидная форма кольца «д» позволяет увеличить отвод тепла от поршня из-за увеличенной площади контакта к стенке цилиндра, так и косвенно выполняет функцию очистки поршневой канавки от нагара, что уменьшает возможность «залегания» поршневых колец.

Любой из профилей поршневого кольца должен обеспечить плотность прилегания к «зеркалу» цилиндра. Данное требование необходимо выполнять для обеспечения основной функции поршневых колец – обеспечение герметичности камеры сгорания, причём на всех тактах рабочего цикла двигателя [7].

Плотность прилегания достигается за счёт собственной силой упругости кольца, которая зависит от материала поршневого кольца и способа изготовления. Силу собственной упругости можно графически отобразить в виде эпюры давления (см. рисунок 2) [8].

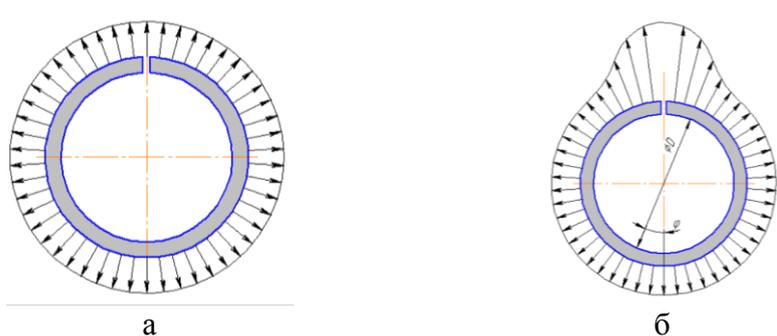


Рис. 2. Эпюры давлений поршневых колец: а – симметричная; б – грушевидная

Изображённые эпюры давлений показывают две особенности, заключающиеся в равномерности действия давления (рисунок 2а) и увеличении давления в районе «замка» (рисунок 2б). Равномерность давления по всей поверхности кольца применяется для нижних компрессионных и маслосъёмных колец, где давление от сгорания топлива не усиливает прижим поршневого кольца к зеркалу цилиндра. Грушевидная форма применяется для верхних компрессионных колец, где сила собственной упругости поршневого кольца увеличивается от действия расширения газов при сгорании топлива в камере сгорания. Данное обстоятельство вызвано ускоренным износом концов кольца, причиной которого служит «замок», через который отработанные газы с большой скоростью направляются в зону с пониженным давлением. Движущиеся газы высокой температуры сдувают масляную плёнку с поверхности втулки цилиндра, тем самым создавая условия работы фрикционной пары без смазки. Соответственно грушевидная форма эпюры давлений делается для создания равномерности износа поршневого кольца. Оптимальность распределения давления достигается путём выбора соответствующей технологии изготовления. Например, грушевидная эпюра достигается путём обточки по копиру.

Одним из действующих способов по уменьшению изнашивания трущихся деталей, является нанесение покрытий на рабочие поверхности поршневых колец [9,10,11]. Покрытия выполняют довольно большой спектр функций:

- уменьшение трибологических напряжений цилиндра с поршневым кольцом;
- обеспечение износостойкости;
- обеспечение хорошей прирабатываемости к стенке цилиндра с минимально возможным износом цилиндровой втулки;
- обеспечение смазки на рабочих поверхностях.

Существует несколько вариантов расположения покрытий на рабочей поверхности поршневого кольца: с полным покрытием рабочей поверхности, с расположением покрытия в центре рабочей кромки и с частичным покрытием рабочей поверхности (см. рисунок 3).

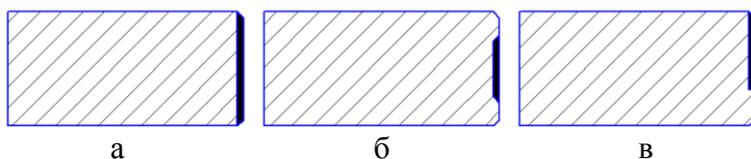


Рис. 3. Покрытия поршневых колец: а – с полным покрытием рабочей поверхности; б – с расположением покрытия в центре рабочей кромки; в – с частичным покрытием рабочей поверхности

В настоящее время применяют такие покрытия как хромовое (Cr), молибденовое (Mo), фосфатное (P), медное (Cu), оловянное (Sn), нитритное (Nt) и керамические покрытия. Качество покрытия определяется прежде всего способностью сохранять не только в процессе работы, но и на этапе монтажа поршневого кольца. К наиболее надёжным покрытиям относятся керамические покрытия и для их нанесения используют два эффективных способа:

- CVD (Chemical Vapor Deposition) - химическое осаждение покрытия из парообразной фазы;
- PVD (Physical Vapor Deposition) - физическое осаждение покрытия из парообразной фазы.

Каждое кольцо из комплекта работает в различных условиях, при которых осуществляется разные виды трений скольжений [12] (см. рисунок 4):

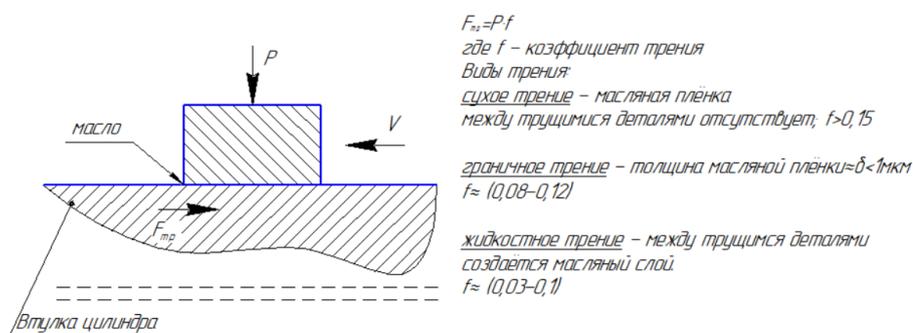


Рис. 4. Силы, действующие на поршневое кольцо во время перемещения поршня

Нижние кольца, воспринимают минимальные воздействия от температуры и давления на поверхность кольца увеличивающее его прижим к стенке цилиндра, поэтому работа колец происходит в режиме жидкостного трения, при котором между сопрягаемыми поверхностями образуется устойчивый масляный слой (см. рисунок 5).

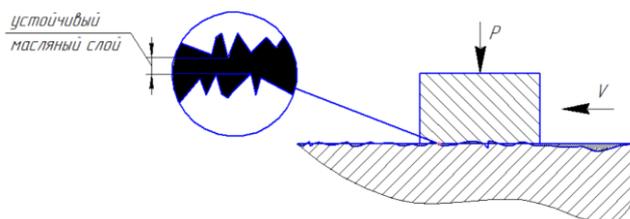


Рис. 5. Жидкостное трение

Основная нагрузка из всего комплекта поршневых колец (от высокой температуры и давления от сгорания топлива в камере сгорания и др.) воспринимается верхним компрессионным кольцом. Дополнительно его условия работы усугубляются граничным трением, отличающимся от жидкостного трения, толщиной масляной плёнки. Её размер соответствует величине 2-3 молекул смазочного масла, и по этой причине, от воздействия нагрузок, связанных с

условиями работы поршневого кольца, данный слой неустойчив. Его разрушение приводит к сухому трению и как следствие к ускоренному износу [13].

При сухом и граничном трении в процессе работы происходят изменения шероховатости на поверхности сопрягаемых деталей. Начальное состояние каждой детали, перед установкой в двигатель, определяется шероховатостью поверхности, получаемой на стадии их изготовления. Нормы для чистоты обработки поверхностей регламентированы ГОСТами на соответствующие детали. Для поршневых колец шероховатость рабочей поверхности должна быть не более Ra 0.63 (ГОСТ7133-80), а для втулок цилиндра с внутренним диаметром меньше 160мм – не более Ra 0.32, свыше 160мм – не более Ra 0.63 (ГОСТ7274-80). «Чистота» обработки определяет размер неровностей, находящихся на поверхностях деталей, и состоит из выступов и впадин. Взаимодействие двух тел осуществляется по выступам, а не всей поверхности тел, вследствие чего происходит увеличение давления контакта (см. рисунок 6).

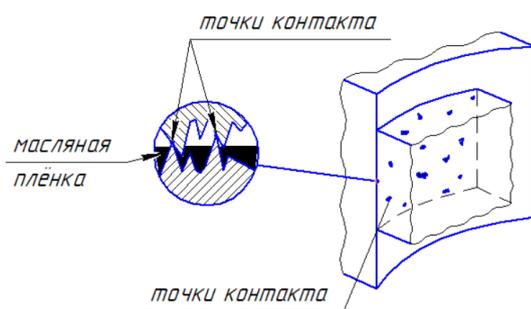


Рис. 6. Взаимодействие трущихся деталей в точках контакта

В процессе работы поршневых колец, площадь контакта между трущимися поверхностями увеличивается, при этом давление контакта уменьшается, за счёт увеличения радиуса кривизны неровностей (см. рисунок 7).

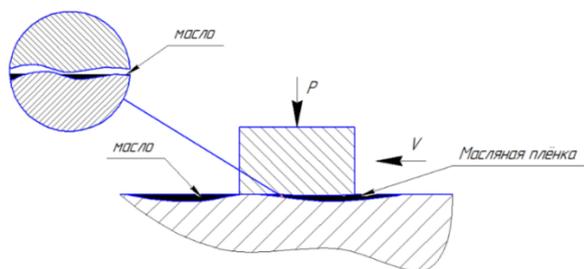


Рис. 7. Взаимодействие трущихся деталей в точках контакта

Данное изменение рабочих поверхностей происходит до наступления равновесной шероховатости, при которой обеспечивается наиболее эффективный и продолжительный период работы.

Постепенное сглаживание поверхностей приводит в конечном счёте к её выравниванию, вследствие чего может произойти истирание масляного слоя. Отсутствие смазки продолжает работу двух тел с сухим трением, при котором происходит резкое увеличение температуры в зоне контакта. Рост температуры может продолжаться до температуры плавления металла, при которой начинают образовываться сварные точки – молекулярное схватывание металла [14] (см. рисунок 8).

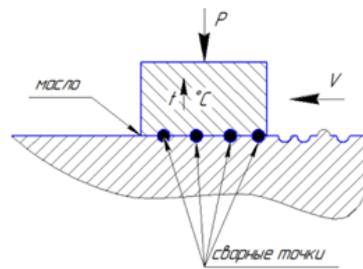


Рис. 8. Образование сварных точек

Образующие сварные точки изменяют сглаженную поверхность, делая её вновь шероховатой. Причём полученная шероховатость ведёт к повышенному износу сопрягаемых поверхностей, понижая не только эффективность работы дизеля, но и увеличивая риски до его полного отказа.

### Результаты испытаний

Анализируя всю вышеизложенную информацию, можно с уверенностью сказать, что фрикционное взаимодействие пары трения поршневое кольцо – втулка цилиндра является ключевой задачей для возможности увеличения технико-экономических показателей двигателя и его КПД. Для оценки величины силы трения предложен стенд, принципиальная схема, которого отображена на рисунке 9.

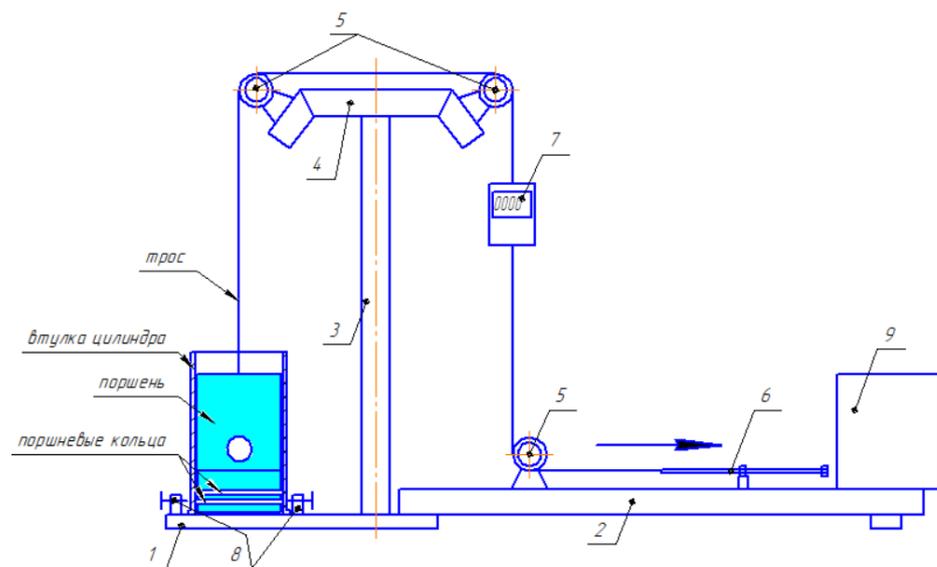


Рис. 9. Принципиальная схема стенда для замера величины силы трения: 1 – основание; 2 – опора; 3 – стойка; 4 – перекладина; 5 – ролик; 6 – натяжной винт; 7 – динамометр; 8 – центрирующие и фиксирующие болты; 9 – электродвигатель на подвижной опоре

Общий вид стенда показан на рисунке 10.



Рис. 10. Общий вид стенда для замера величины силы трения: 1 – основание; 2 – опора; 3 – стойка; 4 – перекладина; 5 – ролик; 6 – натяжной винт; 7 – динамометр; 8 – центрирующие и фиксирующие болты; 9 – электродвигатель на подвижной опоре

Принцип работы стенда заключается в следующем: на основание позиции 1 устанавливается втулка цилиндра, таким образом, чтобы её ось совпала с осью тросика в рабочем положении (натянута) (см. рисунок 11). Совмещение оси втулки с осью троса осуществляется с помощью центрирующих болтов поз. 8. После совмещения осей втулка цилиндра фиксируется с помощью этих же болтов (см. рисунок 12).



Рис. 11. Общий вид стенда для замера величины силы трения



Рис. 12. Установка центрирующих и фиксирующих болтов

Перед установкой поршня во втулку, на «зеркало» цилиндра наносится подогретое до температуры 80°C смазочное масло. Для эксперимента применяется смазочное масло марки М-10В<sub>2</sub> (ГОСТ17479.1-2015). Повышение температуры масла позволяет уменьшить его вязкость, что даёт возможность нанести смазочное масло на «зеркало» цилиндра с минимальным слоем. Далее во втулку цилиндра устанавливается поршень с вмонтированным в него поршневым пальцем. К поршневому пальцу крепится трос, который прокладывается через ролики поз. 5. Между верхними и нижним роликами устанавливается динамометр (см. рисунок 13), с погрешностью измерения 0,05г.



Рис. 13. Установка динамометра

Трос соединяется с помощью такелажных деталей (карабин, вертлюг и зажим) с натяжным винтом, который вращаясь, от электродвигателя с передвижной опорой перемещается (см. рисунок 14) в сторону противоположенной стойки стенда.



Рис. 14. Детали стенда: а – детали соединения троса с натяжным винтом; б – упор, относительно которого перемещается натяжной винт

Благодаря перемещению натяжного винта создаётся усилие, отображающее на табло динамометра. Данная величина увеличивается до тех пор, пока поршень не начинает своё движение. Отображённая величина будет определять полное сопротивление движению поршня, включая и силу трения. Это обстоятельство позволяет проводить замеры с разными условиями и соответственно разность показателей, полученных при испытаниях, будет показывать на сколько эффективны были предложены те или иные мероприятия по уменьшению силы трения.

### **Заключение**

Предлагаемый стенд позволяет решить довольно большой перечень вопросов, связанных с уменьшением механических потерь в деталях цилиндропоршневой группе и как следствие увеличение мощности и КПД двигателя:

1. Влияние силы собственной упругости поршневого кольца на величину сопротивления движению поршня;
2. Определять величину сопротивления движения поршня с различными профилями поршневых колец;
3. Качество распределения масла по поверхности втулки цилиндра;
4. Влияние разных сортов масла на величину сопротивления движению поршня.

### **Список литературы**

1. Повышение эффективности уплотнений деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей / Ю. И. Матвеев, М. Ю. Храмов, В. В. Кольванов, С. Ю. Курицын // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2023. – № 3. – С. 49-55. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-3-49-55.
2. Повышение работоспособности деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей / Ю. И. Матвеев, М. Ю. Храмов, В. В. Кольванов, С. Ю. Курицын // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 76. – С. 99-110. – DOI 10.37890/jwt.vi76.400.
3. Влияние величины «замка» поршневого кольца на работоспособность нового уплотнения деталей цилиндропоршневой группы судового дизеля / Ю. И. Матвеев, С. Ю. Курицын, С. С. Казаков, Р. Р. Жамалов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2025. – № 1. – С. 37-48. – DOI 10.24143/2073-1574-2025-1-37-48.
4. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении // Трение и износ, 1985. – Т. 6, № 2. – С. 201-211
5. Трение и теплопередача в поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания / М. Р. Петриченко, Р. М. Петриченко, А. Б. Канищев, А. Ю. Шабанов. – Ленинград : Ленинградский государственный технический университет, 1990 – 248 с.
6. Гинцбург Б.Я. Теория поршневого кольца / Б.Я. Гинцбург. М: Машиностроение, 1979. – 247.
7. Стендовые испытания нового уплотнения деталей цилиндропоршневой группы судового ДВС / Ю. И. Матвеев, С. Ю. Курицын, С. С. Казаков, Р. Р. Жамалов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2024. – № 2. – С. 48-56. – DOI 10.24143/2073-1574-2024-2-48-56.
8. Матвеев, Ю. И. Методики определения эпюры давлений поршневых компрессионных колец судовых дизелей / Ю. И. Матвеев, С. Ю. Курицын // Транспорт. Горизонты развития : Труды 3-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 14–16 июня 2023 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 17.
9. Лобанов М.Л., Кардонина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. Защитные покрытия : учебное пособие / М.Л. Лобанов, Н.И. Кардонина, Н.Г. Россина, А.С. Юровских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2014. – 200с. ISBN 978-5-7996-1101-9
10. Миронов, Е. Б. Современные технологии повышения долговечности поршневых колец / Е. Б. Миронов // Вестник НГИЭИ. – 2010. – Т. 2, № 1(1). – С. 75-85.
11. Каляшина, А. В. Повышение эксплуатационных характеристик поршневых колец с применением эффективных антифрикционных и износостойких материалов / А. В. Каляшина, А. С. Гаврилюк // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 4(51). – С. 51-55.
12. Крагельский, И.В. и др. Основы расчетов на трение и износ. – М. «Машиностроение». – 1977.
13. Крагельский, И.В. Трение и износ. – М. «Машиностроение». – 1968. – 480с.
14. Матвеев, Ю. И. Повышение работоспособности судовых дизелей в условиях эксплуатации / Ю. И. Матвеев, М. Ю. Храмов, С. Ю. Курицын // Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий : сборник

материалов I Всероссийской конференции, Астрахань, 12–13 декабря 2023 года. – Астрахань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 124-131.

#### References

1. Improving the sealing efficiency of parts of the cylinder piston group of marine diesel engines / Yu. I. Matveev, M. Y. Khramov, V. V. Kolyvanov, S. Y. Kuritsyn // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology. - 2023. – No. 3. – pp. 49-55. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-3-49-55.
2. Improving the operability of parts of the cylinder piston group of marine diesels / Yu. I. Matveev, M. Y. Khramov, V. V. Kolyvanov, S. Y. Kuritsyn // Scientific problems of water transport. – 2023. – No. 76. – pp. 99-110. – DOI 10.37890/jwt.vi76.400.
3. The influence of the value of the "lock" of the piston ring on the operability of the new sealing of the parts of the cylinder piston group of a marine diesel engine / Yu. I. Matveev, S. Y. Kuritsyn, S. S. Kazakov, R. R. Zhamalov // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology. – 2025. – No. 1. – pp. 37-48. – DOI 10.24143/2073-1574-2025-1-37-48.
4. Kostetsky B.I. Structural and energy adaptability of materials under friction// Friction and wear, 1985. – Vol. 6, No. 2. – pp. 201-211
5. Friction and heat transfer in piston rings of internal combustion engines / M. R. Petrichenko, R. M. Petrichenko, A. B. Kanishchev, A. Y. Shabanov. Leningrad : Leningrad State Technical University, 1990 – 248 p.
6. Ginzburg B.Ya. Theory of the piston ring / B.Ya. Ginzburg. Moscow: Mashinostroenie, 1979. – 247.
7. Bench tests of a new seal for parts of the cylinder piston group of a marine internal combustion engine / Yu. I. Matveev, S. Y. Kuritsyn, S. S. Kazakov, R. R. Zhamalov // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and Technology. – 2024. – No. 2. – pp. 48-56. – DOI 10.24143/2073-1574-2024-2-48-56.
8. Matveev, Yu. I., Kuritsyn, S. Y. Methods for determining pressure diagrams of piston compression rings of marine diesel engines. Horizons of Development : Proceedings of the 3rd International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, June 14-16, 2023. Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2023, p. 17.
9. Lobanov M.L., Kardonina N.I., Rossina N.G., Yurovskikh A.S. Protective coatings : a textbook / M.L. Lobanov, N.I. Kardonina, N.G. Rossina, A.S. Yurovskikh. Yekaterinburg : Ural Publishing House. University, 2014. – 200c. ISBN 978-5-7996-1101-9
10. Mironov, E. B. Modern technologies for increasing the durability of piston rings / E. B. Mironov // Bulletin of the NGIEI, 2010, vol. 2, No. 1(1), pp. 75-85.
11. Kalyashina, A.V. Improving the performance of piston rings using effective antifriction and wear-resistant materials / A.V. Kalyashina, A. S. Gavriluk // Bulletin of MSTU "Stankin". – 2019. – № 4(51). – Pp. 51-55.
12. Kragelsky, I.V. and others. Fundamentals of calculations for friction and wear. – M. "Mechanical Engineering". – 1977.
13. Kragelsky, I.V. Friction and wear. – M. "Mechanical Engineering". – 1968. – 480 p.
14. Matveev, Yu. I. Improving the efficiency of marine diesel engines in operating conditions / Yu. I. Matveev, M. Y. Khramov, S. Y. Kuritsyn // Development of water transport energy, information and energy-saving technologies : proceedings of the I All-Russian Conference, Astrakhan, December 12-13, 2023. Astrakhan: Volga State University of Water Transport, 2023. pp. 124-131.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Курицын Сергей Юрьевич**, ассистент кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, Ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: KuritsynnSergey@yandex.ru

**Sergey Y. Kuritsyn**, assistant of the Department of ESEU (Operation of Ship power plants) Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: KuritsynnSergey@yandex.ru

**Матвеев Юрий Иванович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: matveeveseu@mail.ru

**Yuri I. Matveev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: matveeveseu@mail.ru

**Соловьёв Алексей Валерьевич**, д.т.н., доцент, и.о. директора Верхне-Волжского филиала ФАУ «Российский Речной Регистр», 603001, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, 38в e-mail: avsolovev@rfclass.ru

**Alexey V. Soloviev** Dr. Sci. (Eng), deputy director The Federal Autonomous Institute Russian River Register Upper Volga Branch-Office 38v Rozhdestvenskaya Str., Nizhniy Novgorod, 603001, Russian Federation e-mail: avsolovev@rfclass.ru

Статья поступила в редакцию 20.05.2025; опубликована онлайн 20.09.2025.  
Received 20.05.2025; published online 20.09.2025.