



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2024, ТОМ 20, НОМЕР 2, 43–51

EDN: [DHVDWU](https://www.edn.ru/DHVDWU)

УДК 629.113

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИЙ КЛАПАНОВ ДВС СОВРЕМЕННЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (ОПИСАТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР)

С. А. Матвиенко<sup>1</sup>, А. С. Киреев<sup>2</sup>, А. С. Крапивин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,  
286128, г. о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

E-mail: <sup>1</sup>[s.a.matvienko@donnasa.ru](mailto:s.a.matvienko@donnasa.ru), <sup>2</sup>[a.v.kireev@donnasa.ru](mailto:a.v.kireev@donnasa.ru),

<sup>3</sup>[krapivin.a.s-aah-25b@donnasa.ru](mailto:krapivin.a.s-aah-25b@donnasa.ru)

Получена 02 мая 2024; принята 24 мая 2024.

**Аннотация.** В статье рассмотрены условия эксплуатации впускных и выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания и эксплуатационные факторы (температура, нагрузка, коррозия). При эксплуатации клапаны двигателя подвергаются комбинированным воздействиям: термическим, механическим, коррозии и износу. Механизмами разрушения клапанов ДВС, являются: ударный износ, скольжение, истирание, адгезия и высокотемпературная коррозия. Определены дефекты клапанов, возникающие под воздействием эксплуатационных факторов. В статье рассмотрены требования, предъявляемые к материалам клапанов газораспределительного механизма современных двигателей внутреннего сгорания в соответствии с условиями эксплуатации, а также материалы, применяемые для клапанов различных моделей и производителей двигателей внутреннего сгорания автотранспортных средств. Применяемые конструкции и материалы клапанов современных ДВС не удовлетворяют в полной мере условиям эксплуатации по критериям усталостной прочности, износостойкости и коррозионной стойкости. В связи с этим, предложены основные направления повышения ресурса клапанов ДВС.

**Ключевые слова:** клапан, седло, направляющая, условия эксплуатации, материалы, шток, тарелка.

## ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS AND MATERIALS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE VALVE DESIGNS OF MODERN MOTOR VEHICLES (DESCRIPTIVE OVERVIEW)

Sergey Matvienko<sup>1</sup>, Alexey Kireev<sup>2</sup>, Andrey Krapivin<sup>3</sup>

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2.

E-mail: <sup>1</sup>[s.a.matvienko@donnasa.ru](mailto:s.a.matvienko@donnasa.ru), <sup>2</sup>[a.v.kireev@donnasa.ru](mailto:a.v.kireev@donnasa.ru),

<sup>3</sup>[krapivin.a.s-aah-25b@donnasa.ru](mailto:krapivin.a.s-aah-25b@donnasa.ru)

Received 02 May 2024; accepted 24 May 2024.

**Abstract.** The article considers the operating conditions of inlet and exhaust valves of internal combustion engines and operational factors (temperature, load, corrosion). In operation, the engine valves are subjected to combined effects: thermal, mechanical, corrosion and wear. Mechanisms of destruction of internal combustion engine valves are: impact wear, sliding, abrasion, adhesion and high-temperature corrosion. Valve defects arising under the influence of operational factors are defined. The article considers the



requirements to the materials of valves of the gas distribution mechanism of modern internal combustion engines in accordance with the operating conditions, as well as the materials used for valves of different models and manufacturers of internal combustion engines of motor vehicles. The applied designs and materials of valves of modern internal combustion engines do not fully satisfy the operating conditions by the criteria of fatigue strength, wear resistance and corrosion resistance. In this connection, the main directions of increasing the life of internal combustion engine valves are proposed.

**Keywords:** valve, seat, guide, operating conditions, materials, stem, plate.

### Формулировка проблемы

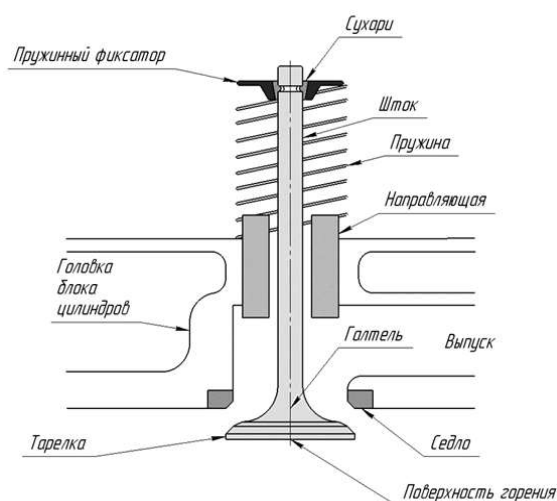
Тенденция настоящего момента времени в области производства и эксплуатации автотранспортных средств, заключаемая в увеличении мощности силовых установок при одновременном снижении массы деталей и агрегатов, связана с протеканием интенсивных деструктивных процессов (увеличение деформации и тепловой нагрузки) в узлах двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Разработанные конструкции и технологии изготовления клапанов ДВС не обеспечивают необходимый технический ресурс деталей в соответствующих условиях эксплуатации.

### Введение

В ДВС ряд ответственных узлов («поршень – гильза цилиндра», «подшипник скольжения – вал», «седло клапана – клапан» и т. д.) испытывают воздействие высоких нагрузок и температур во время эксплуатации автотранспортного средства. Наиболее нагруженным и теплонапряженным узлом трения ДВС автотранспортных средств является узел газораспределительного механизма – «седло – клапан – направляющая втулка» (рис. 1).

Выпускным и впускные клапаны современных ДВС автотранспортных средств, особенно двигателей с воспламенением от сжатия, подвержены сильным тепловым воздействиям и переменным эксплуатационным нагрузкам. Воздействие эксплуатационных факторов на клапаны ДВС вызывает усталостные трещины и специфические явления термической усталости, ползучести материала и трибологического износа. Впускные и выпускные клапаны являются ответственными деталями ДВС, техническое состояние которых определяет его доремонтный ресурс.

Инновации в областях разработки новых материалов и производства клапанов опережаются более высокими требованиями к качеству



**Рисунок 1** – Узел – «седло – клапан – направляющая втулка» [1].

двигателя (более высокое соотношение мощности к весу; более низкий удельный расход топлива; показатели экологической и технической безопасности; увеличенный оптимальный технический ресурс).

На доремонтный технический ресурс ДВС современных автотранспортных средств оказывает влияние долговечность технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка», деталями, лимитирующими надежность которого, являются клапаны, служащие для открытия и закрытия впускного отверстия для свежих газов в камере сгорания (впускные клапаны) и выхода для дымовых газов (выпускные клапаны) [2]. Отказы клапанов могут привести к неработоспособному состоянию ДВС (кривошипно-поршневой системы, головки, элементов системы ГРМ, блока двигателя) [3]. Устранение последствий неисправностей ДВС, возникающих в результате отказов клапанов, является очень дорогостоящим и трудоемким технологическим процессом.

Следовательно, актуальной задачей является повышение надежности и увеличение оптимального доремонтного ресурса выпускных и впускных клапанов по критериям конструктивным, технологическим, экологической и технической безопасности. Решение данной задачи осложнено сложностью определения механизма разрушения клапанов, на который оказывают влияние материал детали и эксплуатационные факторы.

### Цель и задачи исследования

**Цель статьи** – определение соответствия качества материалов современных клапанов эксплуатационным факторам и обеспечению оптимального полного технического ресурса.

#### Задачи:

1. Выполнить условий эксплуатации впускных и выпускных клапанов ДВС.
2. Анализ материалов, применяемых при изготовлении и восстановлении впускных и выпускных клапанов ДВС.
3. Определить направления повышения ресурса клапанов ДВС.

### Основной материал

**Условия эксплуатации.** Впускные и выпускные клапаны испытывают механическую нагрузку (под действием сил давления газов на тарелку клапана, сил инерции движущихся частей, упругости клапанных пружин и усилий со стороны толкателя-штанги) и термическую нагрузку из-за высокой температуры и давления внутри цилиндра. Выпускной клапан, по сравнению с впускным, эксплуатируется в условиях более высоких температурных режимов и подвергается воздействию сложной химической эрозии газов и потенциальных частиц [4].

Впускные и выпускные клапаны ДВС автотранспортных средств эксплуатируются в напряженных условиях высоких температур, термических и переменных динамических нагрузок, химической коррозии (коррозионном и эрозийном воздействии горячих газов) [2, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. При эксплуатации клапаны двигателя подвергаются комбинированным воздействиям: термическим, механическим, коррозии и износу [8].

На ресурс клапана оказывает влияние тепловая перегрузка, механические или продольные

циклические напряжения, воздействие химически агрессивных металлов и высокоцикловая усталость [3, 4, 10]. При работе ДВС клапаны подвергаются циклическому нагружению, шток клапана находится под осевой многократной нагрузкой, область канавки подвергается растягивающим напряжениям и становится критическим сечением из-за геометрических концентраций напряжений.

Механизмами разрушения клапанов ДВС, описанными в литературе, являются: ударный износ, скольжение, истирание, адгезия и высокотемпературная коррозия [2, 5, 8, 11]. Наиболее значительное влияние на износ клапана в современных двигателях оказывают [2, 5]:

- энергия удара, передаваемая при контакте посадочной поверхности клапана на вкладыш седла;
- скольжение клапана по вкладышу седла при контакте.

Воздействие эксплуатационных факторов на впускные и выпускные клапана ДВС вызывает усталостные трещины и специфические явления термической усталости, ползучести материала и трибологического износа [4, 10]. Под воздействием переменной динамической и тепловой нагрузки прочность и твердость поверхностного слоя фаски клапана снижается, инициируется пластическая деформация, и как следствие износ [5]. Переменные циклы напряжений в поверхностном слое клапана, порождаемые тепловыми циклами, способствуют образованию сетки из многочисленных с разнонаправленным рисунком, часто напоминающей «змеиную кожу» [4]. Разрушение контактной конической поверхности в основном обусловлено упругой и пластической деформацией, усталостными микротрещинами и сколами. Шток выпускного клапана, как правило, выходит из строя из-за перегрева, что проявляется в виде значительной потери твердости и обширного поверхностного окисления и фреттинга/истирания на стержне клапана [10].

При эксплуатации клапанов автотранспортных средств возможно возникновение следующих дефектов: эрозия-коррозия, ухудшение механических свойств, износ направляющей втулки и штока клапана, коробление и неплотное прилегание клапана к седлу, прогорание тарелки, возникновения множественных усталостных трещин в зонах перехода тарелки клапана в шток или в

районе проточки под сухарики, окисление поверхности и фреттинг-истирание на штоке клапана, износ направляющей втулки и штока клапана, в средней части стержня возникает продольное фреттинговое повреждение, потеря плотности сопрягаемых поверхностей тарелки клапана и седла, износ рабочих фасок тарелок, износ боковых и торцевых поверхностей стержней, нагар на поверхностях тарелок, коррозия и эрозия полей тарелки и седла клапана, потеря плотности сопрягаемых поверхностей тарелки клапана и седла [9, 5, 6, 7, 8, 2, 3, 4, 10, 12].

Усталостные трещины чаще всего возникают в области затвора, в зоне галтели клапана. Чередующиеся циклы открытия-закрытия трещин, вызванные термической усталостью и влиянием агрессивной среды, способствуют интенсификации развития поперечных усталостных трещин в результате эффекта Ребиндера [3]. Усталостная прочность значительно снижается с повышением температуры. При усталостном разрушении материал разрушается хорошо – ниже предела текучести этого материала [5].

Износ обычно происходит на поверхности седла клапана и на фаске клапана из-за скольжения (рис. 2) [3, 8]. Основным дефектом тарелки выпускного клапана является износ уплотнительного пояса из-за потери герметичности, вследствие эрозии и прожогов.

Степень коррозионного воздействия на поверхностный слой клапанов зависит от материала и эксплуатационных факторов. Ударная нагрузка поверхности клапана на седло клапана приводит к удалению материала (рецессия клапана). Рабочая температура выпускного клапана определяется мощностью, эффективностью процесса сгорания и системы охлаждения ДВС.

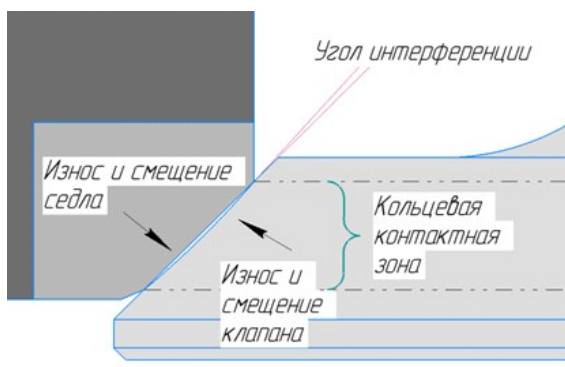


Рисунок 2 – Сопряжение седло-клапан [1].

### Материалы, применяемые для изготовления и восстановления клапанов.

Материалы, применяемые для изготовления клапанов современных ДВС, должны:

- обеспечивать работоспособность клапанов под комбинированным воздействием эксплуатационных факторов;
- иметь не высокую стоимость;
- сопротивляться действию повторных динамических нагрузок при высоких температурах;
- иметь оптимальную высокую твердость поверхностного слоя;
- стойкостью в среде продуктов сгорания;
- обладать хорошей жаропрочностью (свыше 900 °С);
- обладать высокой теплопроводностью;
- обладать ограниченным коэффициентом термического расширения;
- обладать не высокой плотностью;
- не должны закаливаться на воздухе при охлаждении клапана ниже рабочей температуры;
- обладать высокими коррозионной стойкостью, усталостной стойкостью и износостойкостью.

Материалы, применяемые для изготовления клапанов представлены в таблице.

Клапаны изготавливают из специальных жаростойких сталей и сплавов с большим содержанием хрома, никеля, молибдена, вольфрама марганца и азотных соединений и имеющих высокую стоимость [2]. Сегодня на изготовление клапанов обычно идут высоколегированные силхромы и аустенитные стали которые обладают хорошей жаропрочностью (350...900 °С), стойкостью в среде выхлопных газов и стоимостью на уровне дешевых высокоуглеродистых сплавов.

Цельная конструкция клапана представляет собой наиболее экономичную конструкцию. Но однородность материала клапана не может обеспечить необходимую прочность и жаростойкость, особенно в ДВС с воспламенением от сжатия при высоком пиковом давлении и с искровым зажиганием на сухом топливе, поэтому клапаны изготавливают из разнородных материалов соединенных стыковой сваркой: тарелку из специальных сплавов, обладающих жаростойкостью, прочностью, коррозионной стойкостью, стойкостью к воздействию окиси свинца и высокой твердостью; стержень из легированной стали, обладающих высокой износостойкостью.

**Таблица.** Материалы, применяемые для изготовления клапанов [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]

№ п/п	Материал	Применение
1.	40X9C2, 40X10C2M, 10X13CЮ, ЭН107, Si1 XB, BT18Y, BT25Y, IMI829, M834, Ti-6242S, Timetal1100, X45CrSi9-3, X80CrNiSi20, 40X10CTM	при изготовлении выпускных клапанов
2.	45X14H14B2, 5X14H14B2C3, 12X18H9T, 36X18H25C2	для клапанов мощных моторов
3.	B2K, B3K, ЭП616А	для наплавки рабочих фасок клапанов
4.	4010C2M, 40X14HB2M, 55X20Г9АН4, 40X10CM2, 5X20H4A19M	для выпускных клапанов двигателей СМД-14, Д-240, Д-65Н и др.
5.	ЭП970, ЭП303	для выпускных клапанов карбюраторного двигателя
6.	стали ЭП-616	выпускные клапаны двигателей Д-144, СМД-60, А-41
7.	самофлюсующиеся порошки на хромоникелевой основе типа ПГ-СР2, ПГ-СР3 с добавлением 4 % Al; порошковые твердые сплавы на железной основе ПГ-С1, ПГ-УС25 с добавлением к последним 6 % Al	для наплавки фасок клапанов
8.	X45CrSi93, 21-2N, 21-4N, 21-4NNbW, Ti-48Al+2Cr-2Nb, Ti-46Al-1Cr-0,2S, Ti-(13-15)Al-(34)Nb-(2-4)V-(0,5-1)Zr, X53CrMnNiN21-9, X50CrMnNiNbN21-9, 1541, Ti-(7,5-12,5)Al-(1,6-2,6)Mo-(1,4-2,4)Zr-(0,1-0,2)Si-(0,05-0,1)Y; Si1; ЭП-303М (5X20H4A19M)	для выпускных клапанов
9.	Ti-(2-4)Al-(1,5-3,5)V, Ti-6Al-4V-	стержень клапана
10.	Никелевые сплавы Inconel, Nimonic, Nichrome	в турбированных двигателях

Для повышения износостойкости и коррозионной стойкости клапанов [2, 4, 5, 9, 14]:

- на фаску тарелки наплавляют жаропрочный сплав типа «стеллит» (немагнитный сплав Co, W и Cr);
- изготавливают клапаны из нихрома (сплав на основе Cr, Ni, Co, W и др.);
- применяют хромирование, азотирование и алитирование;
- применяют натриевое охлаждение клапана;
- торцы стержней закаляют ТВЧ.

Сплавы на основе никеля несмотря на высокую жаростойкость и износостойкость, редко применяются в автомобильных двигателях, т. к. они в 8–10 раз дороже твердых сплавов на железной основе и хуже обрабатываются [5, 14]. Применение титана позволяет снизить вес клапана, но из-за высокой цены применяется для производства клапанов гоночных автомобилей. Хромирование штока клапана увеличивает его долговечность,

повышает износостойкость и коррозионную стойкость, но, на сегодняшний момент – утратило свою популярность. Большинство европейских и азиатских производителей перешли на азотирование. Сплавы на основе никеля имеют низкую усталостную прочность, но могут работать при очень высоких температурах около 1027 °С [5].

При выборе материала для наплавки клапанов следует руководствоваться тем, что хромоникелевые сплавы имеют более высокую жаростойкость и износостойкость, но они в 8–10 раз дороже твердых сплавов на железной основе и хуже обрабатываются [21].

Клапаны производятся из специальных жаропрочных материалов с антикоррозийными свойствами, таких как среднелегированные стали с хромом, мартенситные и аустенитные нержавеющие стали, титановые сплавы, жаропрочные сплавы на основе никеля (Inconel, Nimonic, Nichrome и т. д.).

С целью замены дефицитных добавок используются сплавы на никелевой основе, которые не содержат кобальта (ЭП-649, ЭП-616, ЭП-615). К недостаткам данных сплавов можно отнести снижение твердости при температуре 1 300 градусов Цельсия.

Выпускные клапаны изготавливаются из нержавеющей сталей марок 21-2N или 21-4N, имеющих высокую термостойкость и устойчивость к окислению оксидами свинца. В США высококачественные кованые клапаны изготавливаются из очищенной нержавеющей стали 21-2N.

Большинство впускных клапанов изготавливаются из закаленной мартенситной низколегированной стали.

Из-за требований к усталостной прочности тарелки выпускных клапанов широко применяются аустенитные нержавеющие стали на основе железа или никеля. Упрочнение твердым раствором и осаждением обеспечивает твердость при нагревании и сопротивление ползучести, необходимые для типичных применений выпускных клапанов [9, 23].

## Выводы

Материалы клапанов ДВС определяются условиями эксплуатации (рабочая температура, приложенные нагрузки, состав продуктов сгорания).

Многоступенчатый турбонаддув и адиабатический подход увеличивают пиковые давления и температуры в ДВС.

Инновации в областях разработки новых материалов и производства клапанов опережаются более высокими требованиями к качеству двигателя (более высокое соотношение мощности к весу; более низкий удельный расход топлива; показатели экологической и технической безопасности; увеличенный оптимальный технический ресурс).

Применяемые конструкции и материалы клапанов современных ДВС не удовлетворяют в полной мере условиям эксплуатации по критериям усталостной прочности, износостойкости и коррозионной стойкости.

В связи с этим возникает необходимость решения следующих актуальных задач:

- моделирование процессов разрушения клапанов ДВС;
- выявление закономерностей изнашивания клапанов ДВС;
- разработка на базе системного подхода методики расчетного прогнозирования долговечности клапанов;
- многокритериальная оптимизация ресурса клапанов по критериям конструктивным, технологическим, экологической и технической безопасности.

## Литература

1. Blau, Peter J. A wear model for diesel engine exhaust valves / Peter J. Blau. – Текст : непосредственный // Materials Science and Technology Division Oak Ridge National Laboratory. – 2009. – ORNL/TM-2009/259. – P. 1–47.
2. Бабанин, А. Я. Упрочняющая и восстановительная наплавка клапанов газораспределительного механизма двигателей внутреннего сгорания / А. Я. Бабанин, А. В. Чухаркин. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов ДонГТИ. – 2021. – № 25(68). – С. 26–31.
3. Filipowicz, K. Use of surface working for improving the working life of piston valves of combustion engines / K. Filipowicz, M. Kuczaj, S. Mikula. – Текст : непосредственный // Transport problems. – 2020. – Volume 15, Issue 3. – P. 107–116.
4. Tomaszewski, S. Assessment of engine valve materials / S. Tomaszewski, D. Grygier, M. Dziubek. –

## References

1. Blau, Peter J. A wear model for diesel engine exhaust valves. – Text : direct. – In: *Materials Science and Technology Division Oak Ridge National Laboratory*. – 2009. – ORNL/TM-2009/259. – P. 1–47.
2. Babanin, A. Ya.; Chukharkin, A. V. Hardening and restoration surfacing of valves of the gas distribution mechanism of internal combustion engines. – Text : direct. – In: *Collection of scientific works of DonGTI*. – 2021. – № 25(68). – P. 26–31. (in Russian)
3. Filipowicz, K.; Kuczaj, M.; Mikula, S. Use of surface working for improving the working life of piston valves of combustion engines. – Text : direct. – In: *Transport problems*. – 2020. – Volume 15, Issue 3. – P. 107–116.
4. Tomaszewski, S.; Grygier, D.; Dziubek, M. Assessment of engine valve materials. – Text : direct. – In: *Combustion Engines*. – 2023. – № 194(3). – P. 48–51.
5. Raghuwanshi, Naresh Kr.; Pandey, Ajay; Mandloi, R. K. Failure analysis of internal combustion

- Текст : непосредственный // *Combustion Engines*. – 2023. – № 194(3). – P. 48–51.
5. Raghuwanshi, Naresh Kr. Failure analysis of internal combustion engine valves: a review / Naresh Kr. Raghuwanshil, Ajay Pandey, R. K. Mandloi. – Текст : непосредственный // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2012. – Volume 1, Issue 2. – P. 173–181.
  6. Voorwald, H. J. C. Fatigue Strength of X45CrSi93 stainless steel applied as internal combustion engine valves / H. J. C. Voorwald, R. C. Coisse, M. O. H. Cioffi. – Текст : непосредственный // *Procedia Engineering*. – 2011. – Volume 10. – P. 1256–1261.
  7. Kazymyrovych, V. Very high cycle fatigue of engineering materials: a literature review / V. Kazymyrovych. – Karlstad, Sweden : Karlstad University, 2009. – 22 p. – Текст : непосредственный.
  8. Матвиенко, С. А. Анализ управления процессами повышения ресурса деталей, лимитирующих надежность автомобиля / С. А. Матвиенко, Э. С. Савенко, А. Г. Яценко. – Текст : электронный // *Машиностроительные технологические системы : сборник трудов международной научно-технической конференции, 26–30 сентября 2023 г., Ростов-на-Дону / Под редакцией В. А. Лебедева*. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2023. – С. 350–356. – URL: <https://ntb.donstu.ru/content/20231398.pdf> (дата обращения: 01.03.2024).
  9. Костенко, А. В. Особенности представления выпускного клапана судового дизеля в функционально-ориентированных технологиях / А. В. Костенко, С. А. Матвиенко. – Текст : непосредственный // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – 2019. – № 4(67). – С. 49–55.
  10. Pandeyl, Ajay. Effects of High Temperature on the Microstructure of Automotive Engine Valves / Ajay Pandeyl, R. K. Mandloi. – Текст : непосредственный // *Journal of Engineering Research and Applications*. – 2014. – Volume 4, № 3. – P. 122–126.
  11. Forsberg, P. Combustion Valve Wear: A Tribological Study of Combustion Valve Sealing Interfaces / P. Forsberg. – Текст : непосредственный // *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*. – 2013. – № 1058. – P. 1–57.
  12. Shalunov, E. P. Heat resistant and heat-and wear-resistant dispersion strengthened composit materials on powder copper base of Discom trade mark for valve guides and valve seats for diesel and petrol engines / E. P. Shalunov, S. A. Orlov, V. S. Slavoljubov. – Текст : непосредственный // *Science for Materials in the Frontier of Centuries. Advantages and Challenges : procesiding of International Conference*. – 2002. – Volume 2. – P. 599–600.
  13. Онищенко, Д. О. Моделирование теплового состояния крышки цилиндра и клапанов дизеля / Д. О. Онищенко, С. А. Панкратов. – Текст : непосредственный // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение»*. – 2013. – № 4. – С. 94–108.
  - engine valves: a review. – Text : direct. – In: *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2012. – Volume 1, Issue 2. – P. 173–181.
  6. Voorwald, H. J. C.; Coisse, R. C.; Cioffi, M. O. H. Fatigue Strength of X45CrSi93 stainless steel applied as internal combustion engine valves. – Text : direct. – In: *Procedia Engineering*. – 2011. – Volume 10. – P. 1256–1261.
  7. Kazymyrovych, V. Very high cycle fatigue of engineering materials: a literature review. – Karlstad, Sweden : Karlstad University, 2009. – 22 p. – Текст : непосредственный.
  8. Matvienko, S. A.; Savenko, E. S.; Yatsenko, A. G. Analysis of control processes for increasing the service life of parts that limit the reliability of a car. – Text : electronic. – In: *Mechanical engineering technological systems : collection of proceedings of the international scientific and technical conference, September 26–30, 2023, Rostov-on-Don / Edited by V. A. Lebedev*. – Rostov-on-Don : DSTU, 2023. – P. 350–356. – URL: <https://ntb.donstu.ru/content/20231398.pdf> (date of access: 01.03.2024). (in Russian)
  9. Kostenko, A. V.; Matvienko, S. A. Features of the presentation of the exhaust valve of a marine diesel engine in function-oriented technologies. – Text : direct. – In: *Progressive technologies and mechanical engineering systems*. – 2019. – № 4(67). – P. 49–55. (in Russian)
  10. Pandeyl, Ajay; Mandloi, R. K. Effects of High Temperature on the Microstructure of Automotive Engine Valves / Ajay Pandeyl, R. K. Mandloi. – Text : direct. – In: *Journal of Engineering Research and Applications*. – 2014. – Volume 4, № 3. – P. 122–126.
  11. Forsberg, P. Combustion Valve Wear: A Tribological Study of Combustion Valve Sealing Interfaces. – Text : direct. – In: *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*. – 2013. – № 1058. – P. 1–57.
  12. Shalunov, E. P.; Orlov, S. A.; Slavoljubov, V. S. Heat resistant and heat-and wear- resistant dispersion strengthened composit materials on powder copper base of Discom trade mark for valve guides and valve seats for diesel and petrol engines. – Text : direct. – In: *Science for Materials in the Frontier of Centuries. Advantages and Challenges : procesiding of International Conference*. – 2002. – Volume 2. – P. 599–600.
  13. Onishchenko, D. O.; Pankratov, S. A. Modeling of the thermal state of the cylinder cover and diesel valves. – Text : direct. – In: *Bulletin of MSTU im. N. E. Bauman. Series «Mechanical Engineering»*. – 2013. – № 4. – P. 94–108. (in Russian)
  14. Timokhova, O. M.; Kadyrmetov, A. M.; Snyatkov, E. V. [et al.]. Restoration of internal combustion engine valves by plasma surfacing and spraying with parameter modulation. – Text : direct. – In: *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2018. – № 1(23). – P. 53–67. (in Russian)
  15. Amanov, S. R.; Gorin, A. D. Development of technology and equipment for strengthening the working

14. Восстановление клапанов двигателей внутреннего сгорания плазменной наплавкой и напылением с модуляцией параметров / О. М. Тимохова, А. М. Кадырметов, Е. В. Снятков [и др.]. – Текст : непосредственный // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – № 1(23). – С. 53–67.
15. Аманов, С. Р. Разработка технологии и оборудования для упрочнения рабочей фаски выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания / С. Р. Аманов, А. Д. Горин. – Текст : непосредственный // Проблемы развития автомобилестроения в России : материалы Международной научно-практической конференции, 1996–1998 гг., Тольятти. – Тольятти : ТолПИ, 1998. – С. 190–195.
16. Савенко, Э. С. Восстановление стальных коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания методом наплавки / Э. С. Савенко, Н. В. Савенков, С. Э. Савенко. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Том 18, № 1. – С. 27–35. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2022-1/03\\_savenko\\_savenkov\\_savenko.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-1/03_savenko_savenkov_savenko.pdf) (дата обращения: 25.02.2024).
17. Эккерт, Д. Р. Анализ материалов, идущих на изготовление клапанов дизельного двигателя КамАЗа / Д. Р. Эккерт, Е. А. Морозова. – Текст : непосредственный // Траектория научно-технологического развития России с учетом глобальных трендов : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 29 ноября 2019 г., Белгород. – Белгород : ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2019. – С. 175–178. – URL: <https://ap-ni.ru/article/62-analiz-materialov-idushchikh-na-izgotovlenie> (дата обращения: 10.03.2024).
18. Lacerda, Helder Barbieri. Blade geometry effects on the boring of valve seats of internal combustion engines / Helder Barbieri Lacerda, Ildeu Lucio Siqueira. – Текст : непосредственный // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2012. – Volume 63. – P. 269–280.
19. Venkatesh, B. Mechanical properties of metal matrix composites (Al/SiCp) particles produced by powder metallurgy / B. Venkatesh, B. Harish. – Текст : непосредственный // International Journal of Engineering Research and General Science. – 2015. – Volume 3, № 1. – P. 1277–1284.
20. Siczek, K. Researces on friction force between valve made of TiAl and its guide made of phosphorous bronze / K. Siczek. – Текст : непосредственный // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2013. – Volume 20, № 1. – P. 295–301.
21. Возницкий, И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания : в 2-х томах : том 1 / И. В. Возницкий. – Москва : Моркнига, 2008. – 282 с. – Текст : непосредственный.
22. Жигулин, Д. А. Обеспечение ресурса и надежности клапанных механизмов на разных этапах развития двигателей внутреннего сгорания / Д. А. Жигулин, С. П. Столяров. – Текст : непосредственный // chamfer of exhaust valves of internal combustion engines. – Text: direct. – In: *Problems of development of the auto-motive industry in Russia: materials of the International Scientific and Practical Conference, 1996–1998, Tolyatti*. – Tolyatti: TolPI, 1998. – P. 190–195. (in Russian)
23. Savenko, E. S.; Savenkov, N. V.; Savenko S. E. Restoration of steel crankshafts of internal combustion engines by surfacing. – Text : electronic. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2022. – Volume 18, № 1. – P. 27–35. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2022-1/03\\_savenko\\_savenkov\\_savenko.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-1/03_savenko_savenkov_savenko.pdf) (date of access: 25.02.2024). (in Russian)
24. Eckert, D. R.; Morozova, E. A. Analysis of materials used for the manufacture of Kamaz diesel engine valves / D. R. Eckert, E. A. Morozova. – Text : direct. – In: *Trajectory of scientific and technological development of Russia taking into account global trends: collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference, November 29, 2019, Belgorod*. – Belgorod : LLC Agency for Advanced Scientific Research (APNI), 2019. – P. 175–178. – URL: <https://apni.ru/article/62-analiz-materialov-idushchikh-na-izgotovlenie> (date of access: 10.03.2024) (in Russian)
25. Lacerda, Helder Barbieri; Siqueira Ildeu Lucio. Blade geometry effects on the boring of valve seats of internal combustion engines. – Text : direct. – In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2012. – Volume 63. – P. 269–280.
26. Venkatesh, B.; Harish, B. Mechanical properties of metal matrix composites (Al/SiCp) particles produced by powder metallurgy. – Text : direct. – In: *International Journal of Engineering Research and General Science*. – 2015. – Volume 3, № 1. – P. 1277–1284.
27. Siczek, K. Researces on friction force between valve made of TiAl and its guide made of phosphorous bronze. – Text : direct. – In: *Journal of KONES Powertrain and Transport*. – 2013. – Volume 20, № 1. – P. 295–301.
28. Voznitsky, I. V. Marine internal combustion engines : in 2 volumes : volume 1. – Moscow : Morkniga, 2008. – 282 p. – Text : direct. (in Russian)
29. Zhigulin, D. A.; Stolyarov, S. P. Ensuring the resource and reliability of valve mechanisms at different stages of development of internal combustion engines. – Text : direct. – In: *Proceedings of the Krylov State Scientific Center*. – 2021. – № 1. – P. 53–55.
30. Savenko, E. S.; Gaevoy, D. D.; Filimonov, D. V. [et al.]. Influence of parameters of the electrohydraulic distribution method on the efficiency of deformation and changes in the physical properties of piston pins of internal combustion engines. – Text : electronic. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2023. – Volume 19, № 4. – P. 175–182. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2023-4/st\\_05\\_savenko\\_gaevoy\\_filimonov\\_savelyev\\_shkilnyuk.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-4/st_05_savenko_gaevoy_filimonov_savelyev_shkilnyuk.pdf) (date of access: 05.03.2024). (in Russian)



Труды Крыловского государственного научного центра. – 2021. – № 1. – С. 53–55.

23. Влияние параметров способа электрогидравлической раздачи на эффективность деформации и изменение физических свойств поршневых пальцев ДВС / Э. С. Савенко, Д. Д. Гаевой, Д. В. Филимонов [и др.]. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2023. – Том 19, № 4. – С. 175–182. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2023-4/st\\_05\\_savenko\\_gaevoy\\_filimonov\\_savelyev\\_shkilnyuk.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-4/st_05_savenko_gaevoy_filimonov_savelyev_shkilnyuk.pdf) (дата обращения: 05.03.2024).

**Матвиенко Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технологические методы формирования поверхностного слоя деталей.

**Киреев Алексей Витальевич** – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: силовые агрегаты на альтернативных видах топлива, автоматические трансмиссии.

**Крапивин Андрей Сергеевич** – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

**Matvienko Sergey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: technological methods for forming the surface layer of parts.

**Kireev Alexey** – master's student, of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: powertrains powered by alternative fuels, automatic transmissions.

**Krapivin Andrey** – master's student of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.