

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 620.178.1

doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-45-52

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ИЗНОСА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШЕЙКИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Александр Олегович Горленко<sup>1✉</sup>, Анастасия Юрьевна Кленичева<sup>2</sup>, Михаил Геннадьевич Шалыгин<sup>3</sup>, Тимофей Игоревич Осипов<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> bugi12@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0807-9537>

<sup>2</sup> klenicheva.anastasia@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8166-001>

<sup>3</sup> migshalygin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8102-9918>

<sup>4</sup> bcnate@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9777-6695>

### Аннотация

В статье представлен металловедческий анализ рабочих поверхностей коленчатого вала критически важного элемента двигателя внутреннего сгорания. Исследование направлено на выявление микроструктурных особенностей, дефектов и закономерностей износа поверхностей в условиях эксплуатационных нагрузок. Актуальность исследования обусловлена необходимостью прогнозирования сроков службы валов и предотвращения аварийных отказов вследствие усталостного разрушения и интенсивного износа. Цель работы – выявить закономерности формирования структуры и свойств поверхностных слоёв в зонах максимальных контактных и изгибных нагрузок (коренные и шатунные шейки, галтели, посадочные поверхности), а также установить механизмы деградации материала в эксплуатационных условиях. Установлены ключевые механизмы деградации материала: усталостные

микротрещины, адгезионный и абразивный износ, локальные зоны пластической деформации. Для достижения цели применён комплекс методов: определение химического состава материала, определение твердости на фрагментах шеек, определение микроструктуры образцов. Предложены критерии оценки остаточного ресурса вала на основе металлографических признаков. Результаты исследования позволяют оптимизировать режимы эксплуатации и ремонта коленчатых валов, повышая надёжность и долговечность двигателей. Также результаты могут быть использованы при проектировании, производстве и ремонте коленчатых валов для повышения надёжности двигателей.

**Ключевые слова:** коленчатый вал, металловедение, микроструктура, износ, усталостное разрушение, микротвёрдость, дефекты, поверхностный слой.

Ссылка для цитирования:

Горленко А.О. Анализ причин износа рабочих поверхностей шейки коленчатого вала / А.О. Горленко, А.Ю. Кленичева М.Г. Шалыгин, Т.И. Осипов // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 3. – С. 45-52. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-45-52.

Original article

Open Access Article

## ANALYSIS OF THE CAUSES OF WEAR ON WORKING SURFACES OF CRANKSHAFT JOURNALS

Aleksandr Olegovich Gorlenko<sup>1✉</sup>, Anastasia Yuryevna Klenicheva<sup>2</sup>, Mikhail Gennadyevich Shalygin<sup>3</sup>, Timofey Igorevich Osipov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> bugi12@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0807-9537>

<sup>2</sup> klenicheva.anastasia@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8166-001>

<sup>3</sup> migshalygin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8102-9918>

<sup>4</sup> bcnate@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9777-6695>

## Abstract

The paper presents a metal research analysis of crankshaft working surfaces, which is a critical element of the internal combustion engine. The study is aimed at identifying microstructural features, defects and patterns of surface wear under operational loads. The relevance of the study is due to the need to predict the service life of shafts and prevent emergency failures due to fatigue failure and intensive wear. The study objective is to find out formation patterns of the structure and properties of surface layers in areas of maximum contact and bending loads (main and rod journals, fillets, mounting surfaces), as well as to identify mechanisms of material degradation under operating conditions. The key mechanisms of material degradation are identified: fatigue microcracks, adhesive and abrasive

wear, and local zones of plastic deformation. To achieve this objective, a set of methods was used: determination of the material chemical composition, determination of hardness on journal fragments, determination of the microstructure of samples. Criteria for estimating the residual life of the shaft based on metallographic features are proposed. The results of the study make it possible to optimize the operation and repair of crankshafts, increasing the reliability and durability of engines. The results can also be used in the design, manufacture and repair of crankshafts to improve engine reliability.

**Keywords:** crankshaft, metallurgy, microstructure, wear, fatigue failure, microhardness, defects, surface layer.

## Reference for citing:

Gorlenko AO, Klenicheva AYu, Shalygin MG, Osipov TI. Analysis of the causes of wear on working surfaces of crankshaft journals. *Transport Engineering*. 2026;3:45-52. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-45-52.

## Введение

Один из наиболее важных и высоконагруженных элементов двигателя внутреннего сгорания является коленчатый вал. Его функциональное назначение заключается в преобразовании возвратно-поступательного движения поршней во вращательное, передаваемое на трансмиссию [1]. В процессе работы вал испытывает сложные комбинированные нагрузки: циклические изгибающие моменты; колебания; контактные напряжения в зонах сопряжения с подшипниками; динамические удары при смене режимов работы [2, 3]. Эти факторы обуславливают интенсивный износ рабочих поверхностей (коренных и шатунных шеек, галтелей, посадочных мест) и создают предпосылки для зарождения усталостных трещин. Отказ коленчатого вала зачастую приводит к тяжёлым аварийным последствиям, включая полный выход двигателя из строя [4]. В связи с этим актуальность металлографического анализа его рабочих фрагментов для определения детали, а также увеличение надёжности и долговечности двигателя [5]. Ключевыми фрагментами коленчатого вала, определяющими его работоспособность, являются такие фрагменты, как коренная шейка и шатунная шейка. Ко-

ренная шейка является опорной частью вала, размещённая в коренном подшипнике картера. Она отвечает за следующие функции: воспринимает суммарные силы от шатунных шеек и передаёт их на блок цилиндров; работает в условиях высоких контактных напряжений и знакопеременных нагрузок; требует высокой твёрдости поверхности и качественной смазки для минимизации износа [6]. Её особенности: испытывает локальные ударные нагрузки от шатунов; подвержена интенсивному абразивному и усталостному износу; нуждается в точном соблюдении геометрии и параметров шероховатости для обеспечения надёжного сопряжения с вкладышами. В обоих случаях критическое значение имеют: микроструктура поверхностного слоя; распределение остаточных напряжений; наличие микродефектов и зон пластической деформации [7]. Шатунная и коренная шейка коленвала может выйти из строя из-за износа, перегрузок, неправильной эксплуатации или некачественных деталей. Целью данной работы является определение конструктивных недостатков фрагментов коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовались коленчатый вал, а именно

фрагменты коренной шейки и шатунной шейки. Для определения химического со-

става материала использовался спектрометр «SpectroMAX»; для определения твердости на фрагментах шеек промерялась по поверхности и в поперечном сечении шеек на твердомере Роквелла типа

ТК–2; Микроструктура образцов исследовалась на поперечных микрошлифах (рис. 2) на металлографическом микроскопе «Axiovert 40MAT»), при 100-кратном и 500-кратном увеличении.

### Результаты и их обсуждение

В процессе исследования проводился визуальный осмотр рабочих поверхностей представленных для исследования фрагментов коленчатого вала; определялся химический состав материала коленчатого вала; замерялась твердость поверхностного слоя рабочих поверхностей и сердцеви-

ны; оценивалась микроструктура. Химический анализ материала коленчатого вала проверялся спектральным методом, на приборе SPECTROMAX, непосредственно в сечении представленных для исследования фрагментов. Результаты химического анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав материала исследуемого коленчатого вала

Table 1

#### *Chemical composition of the material of the crankshaft under study*

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Al, %
0,403	0,68	1,40	0,018	0,024	0,270	0,066	0,102	0,013
Mo, %	V, %	Ti, %	Nb, %	Co, %	W, %	Pb, %	B, %	Sn, %
0,022	0,120	0,013	0,0042	0,0049	<0,0010	0,012	0,0009	0,017
Zn, %	As, %	Bi, %	Ca, %	Ce, %	Zr, %	La, %	Fe, %	
<0,0020	0,011	<0,0020	0,0003	<0,0030	0,0029	<0,0010	96,6	

По химическому составу материал коленчатого вала наиболее близок к отечественной стали 40Г2 ГОСТ4543–2016 (с отклонением по кремнию).

Зарубежные аналоги стали 40Г2: США – 1141, 1340, 1541, 1541H, G11410, G13400, G15410, H13400, H15410; Япония – SMn2, SMn438, SMn438H; Китай – 40Mn2.

Необходимо отметить, что данная марка стали относится к классу конструкционных легированных сталей и использу-

ется в машиностроении для изготовления деталей – коленчатых и карданные валов, распределительных валов, осей, поршневых пальцев, полуосей, рычагов и других изделий.

Твердость на фрагментах шеек промерялась по поверхности и в поперечном сечении шеек на твердомере Роквелла типа ТК–2 (зав. № 980 свидетельство о проверке №443672).

Результаты замеров твердости представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты замеров твердости

Table 2

#### *Hardness measurement results*

Наименование образца	Твердость HRC	
	на поверхности	в сечении
Фрагмент первой коренной шейки (образец №1)	51 – 53	29 – 30
Фрагмент второй коренной шейки (образец №2)	50 – 52	28 – 30
Фрагмент второй шатунной шейки (образец №3)	52 – 54	28 – 30
Фрагмент третьей шатунной шейки (образец №4)	37 – 39	27 – 29

Значения твердости в диапазоне 50...54 HRC свидетельствуют о наличии поверхностного упрочнения, при этом в

сечении материал имеет твердость характерную для объемной термообработки данной стали.

Для исследования микроструктуры и изготовления микрошлифов из представленных образцов были вырезаны фрагменты. Схема вырезки микрошлифов приведена на примере образца № 4 (рис. 1).

Микроструктура образцов исследовалась на поперечных микрошлифах (рис. 2) на металлографическом микроскопе «Axiovert 40MAT» (Аттестат № 7 от 26.02.2017), при 100-кратном и 500-кратном увеличении.



Рис. 1. Образец № 4  
Fig. 1. Sample No. 4

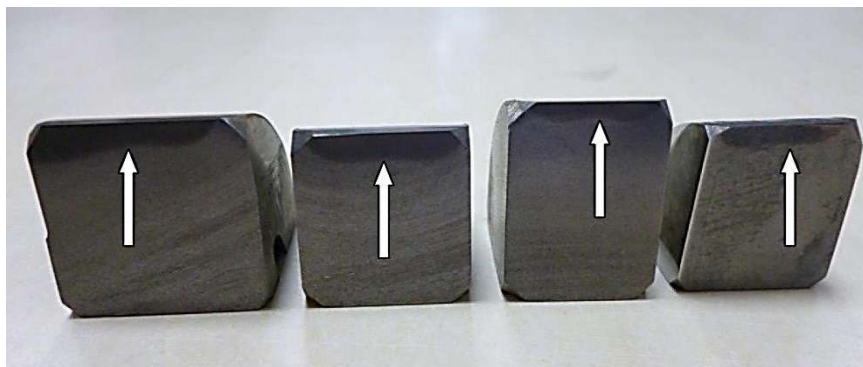


Рис. 2. Микроструктура образцов исследовалась на поперечных микрошлифах  
Fig. 2. Microstructure of samples studied on transverse microsections

На микрошлифах образцов №1, № 2, № 3, № 4 (слева направо) наблюдаются слои закалки ТВЧ (сравнительно более темные участки в виде полосы у рабочей поверхности – на фото 108 показаны белыми стрелками).

Глубина слоя закалки ТВЧ замерялась на поперечных микрошлифах, вырезанных из образцов № 1, № 2, № 3, № 4 и составляет  $\approx 2,80$  мм для коренных шеек (в исследуемом сечении)  $\approx 1,95$  мм (в исследуемом сечении) – для шатунных шеек. Конфигурация слоев приведена на рис. 2.

Микроструктура слоя закалки ТВЧ первой коренной шейки – троостомартенсит (рис. 3), качество закалки – удовлетворительное. Микроструктура слоя закалки ТВЧ третьей коренной шейки – троостомартенсит (рис. 4). Белая стрелка на фото 110 указывает на место расположения кольцевой риски на поверхности коренной шейки 2. Дефект в сечении не идентифицируется, каких-либо изменений в микроструктуре также не наблюдается, что свидетельствует о незначительной глубине

риски. Микроструктура равномерная. Качество закалки ТВЧ удовлетворительное.

Микроструктура слоя закалки ТВЧ второй шатунной шейки – троостит (рис. 5). Микроструктура равномерная.

Микроструктура слоя закалки ТВЧ третьей шатунной шейки – троостит сорбитообразный с участками выделений феррита (рис. 6).



Рис. 3. Микроструктура слоя закалки ТВЧ первой коренной шейки  
Fig. 3. Layer microstructure of induction hardening of the first main journal

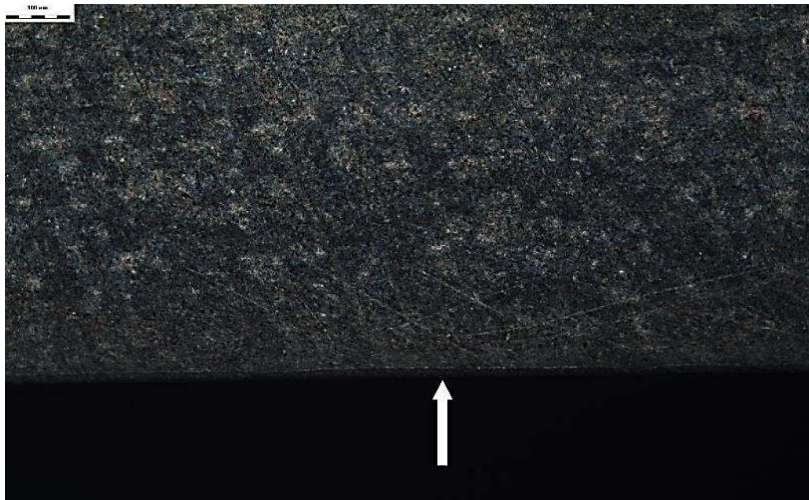


Рис. 4. Микроструктура слоя закалки ТВЧ третьей коренной шейки  
*Fig. 4. Layer microstructure of induction hardening of the third main journal*

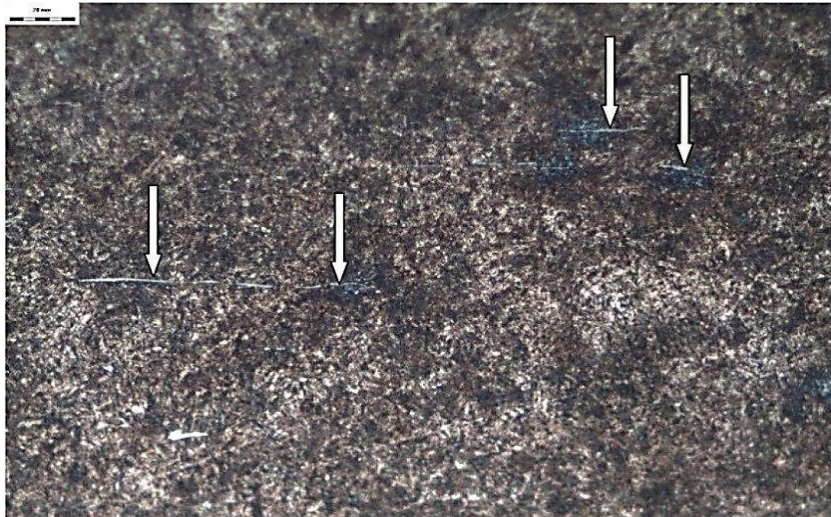


Рис. 5. Микроструктура слоя закалки ТВЧ второй шатунной шейки  
*Fig. 5. Layer microstructure of induction hardening of the second rod journal*

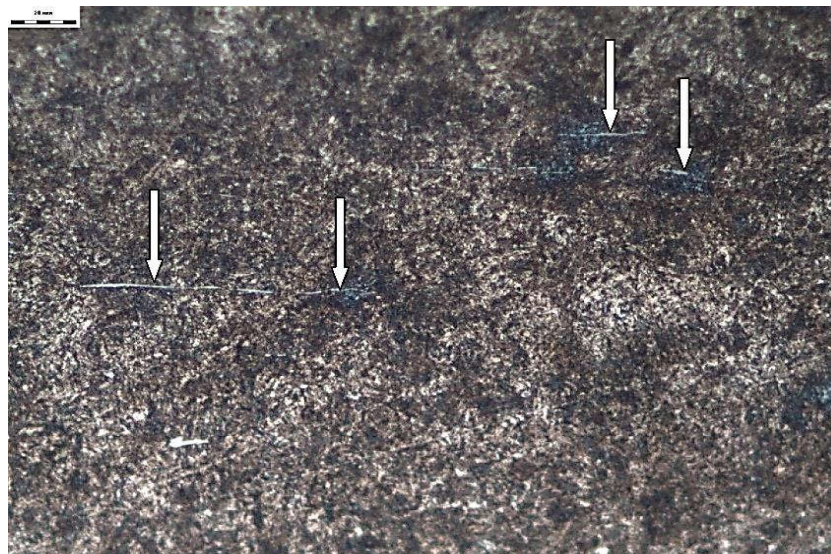


Рис. 6. Микроструктура слоя закалки ТВЧ третьей шатунной шейки  
*Fig. 6. Layer microstructure of induction hardening of the third rod journal*

Микроструктура неравномерная. Качество закалки ТВЧ не удовлетворительное и подтверждается замерами твердости по поверхности данного образца (табл. 1).

В микроструктурах закаленного ТВЧ слоя второй и третьей шатунных шеек наблюдаются неметаллических

включений (в виде вытянутых в направленииковки «прожилок» серого цвета – наиболее крупные из них показаны на рис. 7 белыми стрелками). Неметаллические включения расположены скоплениями и одиночно, размер включений  $\approx$  до 0,07 мм.

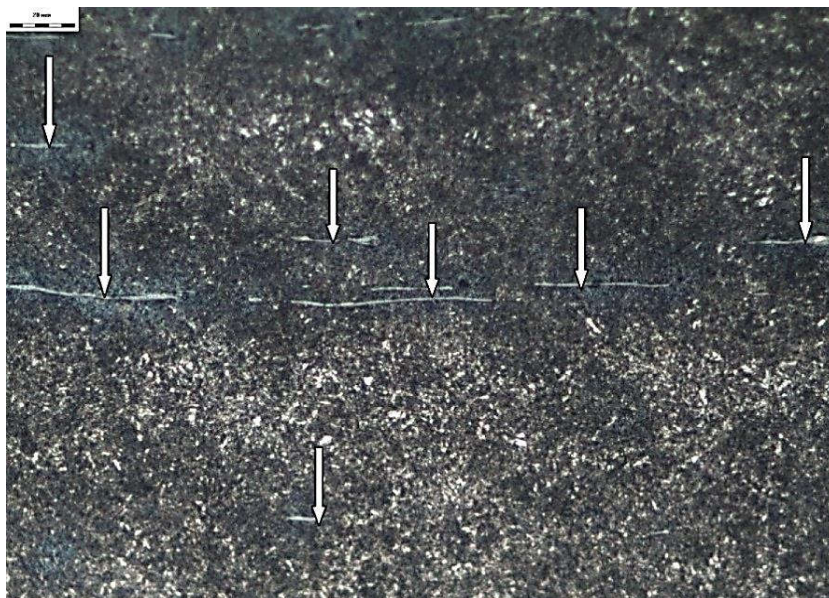


Рис. 7. Неметаллические включения закаленного ТВЧ  
*Fig. 7. Non-metallic inclusions of induction hardened layer*

## Выводы

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы.

Коленчатый вал исследуемого двигателя изготовлен из легированной конструкционной стали, отечественным аналогом которой является сталь 40Г2 ГОСТ 4543–2016. Замеры твердости рабочих поверхностей и сердцевины шеек, а также исследование микроструктуры поперечных шлифов свидетельствует о поверхностном упрочнении – закалке токами высокой частоты (ТВЧ).

Качество поверхностного упрочнения удовлетворительное, за исключением третьей шатунной шейки (образец № 4), где твердость на рабочей поверхности сильно занижена. Сравнительный анализ поверхностной твердости, микроструктуры, конфигурации и толщины слоев закалки ТВЧ свидетельствует о том, что на

третьей шатунной шейке (образец № 4) закалка ТВЧ была произведена некачественно.

Неметаллические включения в материале коленчатого вала, обнаруженные при исследовании микроструктуры поперечных шлифов, вырезанных из второй и третьей шатунных шеек, свидетельствуют о структурной неоднородности материала и могли интенсифицировать процесс изнашивания пары трения «шатунная шейка-шатунные вкладыши».

Некачественная термообработка и структурная неоднородность материала третьей шатунной шейки, способствовали поверхностному разрушению и аварийному износу данной шатунной шейки. Указанные недостатки приводят к выходу из строя шейки коленвала и необходимости ее ремонта [8].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Балабанов В.И., Добряков Д.В. Анализ технологий восстановления коленчатых валов автотракторной техники // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 5. С. 31-38. DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-31-38. EDN SHADZX.
2. Горленко А.О., Лукашова Е.В., Шец С.П., Кленичева А.Ю. Влияние износа узлов двигателей внутреннего сгорания на параметры токсичности // *Транспортное машиностроение*. 2025. № 9(45). С. 46-51. DOI 10.30987/2782-5957-2025-9-46-51. EDN PZETJH.
3. Лукашова Е.В., Ващишина А.П., Шалыгин М.Г., Осипов Т.И. Исследование коленчатого вала дизельного двигателя ЯМЗ-238Д1, отказавшего в процессе эксплуатации // *Транспортное машиностроение*. 2025. № 5. С. 32-38. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-5-32-38>
4. Шоев А.Н., Усманов С.Д. Технологическое повышение долговечности коленчатых и распределительных валов автотракторных двигателей // *Наука и технология XXI века*. 2020. № 4(4). С. 93-99. EDN LQFXOE.
5. Румянцев Е.А., Бондарев А.В. Основные дефекты и способы восстановления коленчатого вала ДВС // *Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Майский, 13–15 марта 2024 года*. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. С. 302-303. EDN FMJUGX.
6. Жураева Г.Ш., Мирзабдуллаев Х. Проблемы повышения долговечности коленчатых валов автомобилей // *Universum: технические науки*. 2020. № 11-2(80). С. 29-32. DOI 10.32743/UniTech.2020.80.11-2.29-32. EDN KRQOO.
7. Золотухина В. Г. Формирование дефектов шеек коленчатых валов // *Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении: IV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: сборник докладов, Тула, 18–20 апреля 2023 года*. Тула: Тульский государственный университет, 2023. С. 369-371. EDN CJDUDZ.
8. Шалыгин М.Г., Ващишина А.П. Технология восстановления шейки оси активного колеса локомотива // *Транспортное машиностроение*. 2022. № 10. С. 36-41.

## REFERENCES

1. Balabanov VI, Dobryakov DV. Analyzing the techniques for restoring crankshafts of automotive vehicles. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(5):31-38. DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-31-38. EDN SHADZX.
2. Gorlenko AO, Lukashova EV, Shets SP, Klenicheva AYU. Influence of wear of internal combustion engine assemblies on toxicity parameters. *Transport Engineering*. 2025;9(45): 46-51. DOI 10.30987/2782-5957-2025-9-46-51. EDN PZETJH.
3. Lukashova EV, Vashchinina AP, Shalygin MG, Osipov TI. Study of the crankshaft of YaMZ-238D1 diesel engine that failed during operation. *Transport Engineering*. 2025;5: 32-38. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-5-32-38>
4. Shoev AN, Usmanov SD. Technological improvement of durability of crankshafts and camshafts of automotive engines. *Science and Technology of the XXI century*. 2020;4(4):93-99.
5. Rumyantsev EA, Bondarev AV. The main defects and methods of restoring the crankshaft of the internal combustion engine. *Proceedings of the VI International Student Scientific Conference, March 13-15, 2024: Gorin Readings. Innovative Solutions for Agriculture; Maisky: Belgorod State Agrarian University; 2024*.
6. Zhuraeva GSh, Mirzabdullaev H. Problems of increasing the durability of crankshafts of trucks. *Universum: Technical Sciences*. 2020;11-2(80):29-32. DOI 10.32743/UniTech.2020.80.11-2.29-32. EDN KRQOO.
7. Zolotukhina VG. Formation of defects in crankshaft journals. *Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation, April 18-20, 2023: Domestic and Foreign Experience in Quality Assurance in Mechanical Engineering; Tula: Tula State University; 2023*.
8. Shalygin MG, Vashchishina AP. Restoration technology of axis neck of locomotive driving wheel. *Transport Engineering*. 2022; 10:36-41.

## Информация об авторах:

**Горленко Александр Олегович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «ПСТМ» Брянского государственного технического университета, тел. 8 (906) 501 46-32.

**Кленичева Анастасия Юрьевна** – ассистент кафедры «ТиТТС» Брянского государственного технического университета, тел. 8 (999) 620 50-80.

**Шалыгин Михаил Геннадьевич** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «ТиТТС» Брянского государственного технического университета, тел. 8 (903) 868 -85-68.

**Осипов Тимофей Игоревич** – аспирант Брянского государственного технического университета, тел. 8 (903) 644 55-44.

**Gorlenko Aleksandr Olegovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the PSTE Department at Bryansk State Technical University, phone: 8 (906) 501 46-32.

**Klenicheva Anastasia Yuryevna** – Assistant of the TiTTS Department at Bryansk State Technical University, phone: 8 (999) 620 50-80.

**Shalygin Mikhail Gennadyevich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the TiTTS Department at Bryansk State Technical University, phone: 8 (903) 868 -85-68.

**Osipov Timofey Igorevich** – Postgraduate Student, at Bryansk State Technical University, phone: 8 (903) 644 55-44.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**

**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 05.02.2026; одобрена после рецензирования 09.02.2026; принята к публикации 27.02.2026. Рецензент – Погоньшев В.А., доктор технических наук, профессор Брянского государственного аграрного университета.**

**The article was submitted to the editorial office on 05.02.2026; approved after review on 09.02.2026; accepted for publication on 27.02.2026. The reviewer is Pogonyshov V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor of Bryansk State Agrarian University.**