Транспортное машиностроение. 2026. № 8(56). С. 67-79. ISSN 2782-5957 (print)
Transport Engineering. 2026. no. 8(56). P. 67-79. ISSN 2782-5957 (print)

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 620.22: 631.37
doi: 10.30987/2782-5957-2026-8-67-79

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ ЗАЖИМОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Владимир Иванович Астащенко[1]✉, Фарит Камильевич Мифтахов[2], Виктор Валерьевич Каблуков[3], Талгат Фаузатович Исхаков[4], Чулпан Альбертовна Гимазетдинова[5]
[1,2,3,4,5] Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Республика Татарстан, Набережные Челны, Россия
[1]astvi-52@mail.ru; http://orcid.org/0000-0001-8141-6021
[2,4] mtk ineka@mail.ru
[3] ferrum-ferrum@inbox.ru
[5] gimazetdinova.chulpan@mail.ru

Аннотация

Цель исследования: установление причин снижения эксплуатационной долговечности деталей комбинированных зажимов российского производства

Задача, решению которой посвящена статья: выявление содержания мероприятий, обеспечивающих высокую эксплуатационную долговечность комбинированных зажимов российского производства при их импортозамещении.

Методы исследования: визуальный и измерительный контроль, фрактографический анализ, спектральный анализ, металлографический анализ.

Новизна работы: выполнение сравнительного анализа комбинированных зажимов зарубежного и отечественного производств на основа комплексного применения различных методов исследования: координатных измерений геометрических параметров, фрактографического анализа поверхности излома, спектрального анализа химического состава и металлографического анализа при импортозамещении деталей сельхозтехники.

Результаты исследования: выявлены причины снижения эксплуатационной долговечности детали российского производства, сформулированы мероприятия по обеспечению высокой эксплуатационной долговечности.

Выводы: причинами снижения эксплуатационной стойкости детали российского производства вследствие дефектов литья в поверхности базового отверстия и высокой твердости материала детали (чугуна марки ВЧ80). Для повышения эксплуатационной стойкости детали российского производства рекомендуется растачивание отверстия и уменьшение твердости материала на 40-50 НВ.

Ключевые слова: сельхозтехника, узел, буксировка, зажим, методы исследования, высокопрочный чугун, импортозамещение.

Ссылка для цитирования:
Астащенко В.И. Повышение эксплуатационной стойкости комбинированных зажимов сельскохозяйственной техники / В.И. Астащенко, Ф.К. Мифтахов, В.В. Каблуков, Т.Ф. Исхаков, Ч.А. Гимазетдинова // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 8. – С. 67-79. doi: 10.30987/2782-5957-2026-8-67-79.

Original article
Open Access Article

INCREASING THE OPERATIONAL STABILITY OF COMBINED CLAMPS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Vladimir Ivanovich Astashchenko[1]✉, Farit Kamilievich Miftakhov[2], Viktor Valerievich Kablukov[3], Talgat Fauzatovich Iskhakov[4], Chulpan Albertovna Gimazetdinova[5]
[1,2,3,4,5] Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University, Republic of Tatarstan, Naberezhnye Chelny, Russia
[1] astvi-52@mail.ru; http://orcid.org/0000-0001-8141-6021
[2,4] mtk ineka@mail.ru
[3] ferrum-ferrum@inbox.ru
[5] gimazetdinova.chulpan@mail.ru

© Астащенко В. И., Мифтахов Ф. К., Каблуков В. В., Исхаков Т. Ф., Гимазетдинова Ч. А., 2026

Abstract

The study objective is to find the reasons for the decrease in the operational durability of parts of Russian-made combined clamps.

The problem that the paper is dedicated is to identify the content of measures ensuring high operational durability of Russian-made combined clamps used for import substitution.

Research methods: visual and measuring control, fractography analysis, spectral analysis, metallographic analysis.

The novelty of the work: performing a comparative analysis of combined clamps of foreign and domestic production based on the complex application of various research methods: coordinate measurements of geometric parameters, fractography analysis of fracture surface, spectral analysis of chemical composition and metallographic analysis in the import substitution of agricultural machinery parts.

Research results: the reasons for the decrease in the operational durability of Russian-made parts are identified, and measures to ensure high operational durability are formulated.

Conclusions: the reasons for the decrease in the operational durability of Russian-made parts due to casting defects in the surface of the base hole and the high hardness of the part material (VCH80 cast iron). To increase the operational resistance of Russian-made parts, it is recommended to drill the hole and reduce the hardness of the material by 40-50 HB.

Keywords: agricultural machinery, assembly, haulage, clamp, research methods, high-strength cast iron, import substitution.

Reference for citing:
Astashchenko VI, Miftakhov FK, Kablukov VV, Iskhakov TF, Gimazetdinova ChA. Increasing the operational stability of combined clamps of agricultural machinery. Transport Engineering. 2026;8:67-79. doi: 10.30987/2782-5957-2026-8-67-79.

Введение

Результативность обработки почвы с использованием сельскохозяйственных агрегатов – культиваторов, дискаторов, универсальных агрегатов почвообработки зависят как от особенностей расположения почвообрабатывающих орудий в его составе, так и от конструктивного исполнения сцепных устройств [1–6], реализующих различные решения для улучшения процесса буксировки агрегата. В настоящее время актуальной задачей для отечественного сельхозмашиностроение является освоение выпуска аналогов деталей и агрегатов собственного производства. На рис. 1 приведено сцепное устройство современного почвообрабатывающего агрегата – культиватора. Особенностью его конструкции является *V*-образная форма дышла (поз. 1), обеспечивающая надежное крепление к раме в двух подвижных опорах, Форма дышла предотвращает раскачивание агрегата при его транспортировке и обработке пашни, обладает высокой конструктивной жесткостью. Для обеспечения удобства сцепки и регулирования углового положения дышла при вспашке его конструкция дополнена гидроцилиндром.

В торцевой части дышла размещен узел буксировки, основным элементом которого является быстросменный комбинированный зажим (поз. 2), имеющий возможность установки на шкворнях в двух положениях – транспортном (на нижнем шкворне (поз. 3) и рабочем (на верхнем шкворне (поз. 4).

На рис. 1 показано положение комбинированного зажима в его рабочем состоянии. Буксировка почвообрабатывающего агрегата выполняется за счет сцепки с верхним отверстием зажима цилиндрическим шкворнем большего диаметра. Вся нагрузка приходится на отверстие этого элемента детали.

Эксплуатационная масса агрегата в зависимости от его исполнения может достигать до 5-ти тонн. Буксировка почвообрабатывающего агрегата выполняется трактором, относящегося к 5-му тяговому классу. Номинальное тяговое усилие трактора составляет 45…54 кН. Критическими с точки зрения эксплуатации являются моменты начала движения агрегата при его заглублении в почву, при обработке почвы на этапе контакта плугов с твердыми фракциями неизбежно возникают рывки. В отдельных случаях, например, при чрезмерном заглублении, возможны режимы остановки обработки почвы, при этом при продолжении обработки тяговое усилие может возрастать в 1,5…2 раза от номинального.

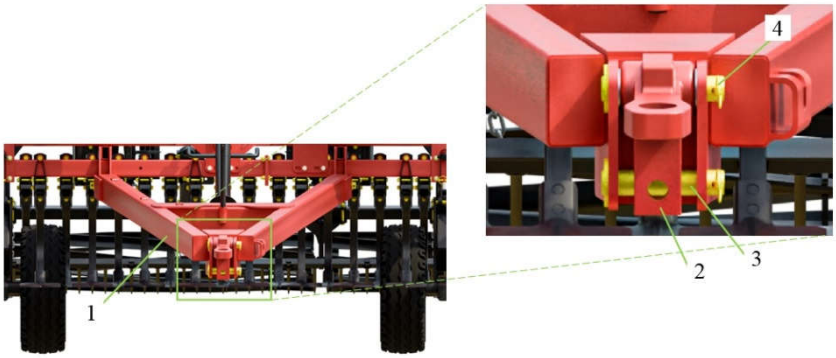


Рис. 1 Сцепное устройство почвообрабатывающего агрегата, где: 1 – дышло, 2 – комбинированный зажим, 3 – шкворень нижний, 4 – шкворень верхний
Fig. 1. Coupling device of a soil-cultivating unit, where: 1 – drawbar, 2 – combined clamp, 3 – lower pivot, 4 – upper pivot

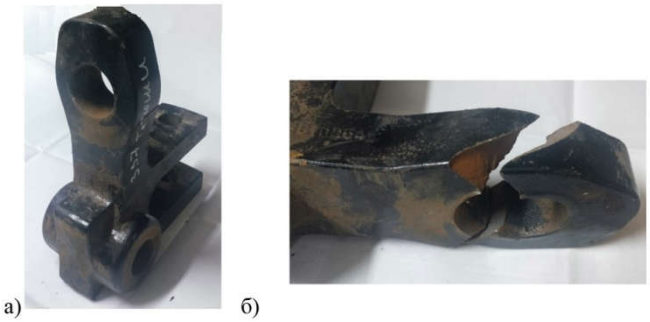


Рис. 2 Зажим, комбинированный российского производства: а – внешний вид, б – разрушение в районе отверстия
Fig. 2 Clamp, combined, Russian production: a) appearance, b) destruction in the area of the hole

В таких жестких условиях эксплуатации агрегата необходимо обеспечить надежность всех несущих элементов агрегата, и, в особенности, его сцепного устройства. Опыт эксплуатации комбинированных зажимов показал, что детали иностранного производства при эксплуатации (в парке техники из 35-почвообрабатывающих агрегатов) показывают высокую надежность, а детали российского производства показали меньшую надежность. В данной выборке почвообрабатывающих агрегатов разрушились три детали.

На рис. 2 приведена форма часто встречающего разрушения ключевой детали сцепного устройства – комбинированного зажима. Обычно разрушение детали происходит в поперечном сечении отверстия. Разрушение этой детали приводит к остановке вспашки и простою почвообрабатывающего агрегата до его замены, и поэтому задачи по обеспечению эксплуатационной надежности этой детали является актуальной для предприятий-изготовителей деталей сельскохозяйственной техники.

Надежность повышают различными методами – нанесением твердосплавных слоев материала на интенсивно изнашиваемые поверхности орудий [7], подбором максимально износостойкой структуры поверхностей, подверженных интенсивному износу [8, 9], обеспечением индивидуальной твердости различных зон поверхностей сельскохозяйственных орудий в зависимости от условий их эксплуатации [10–14], использования упрочняющих технологий в местах интенсивного износа [15–18], оптимизации конструктивного решения за счет топологической параметризации [19], конструктивно-режимных параметров [20, 21], термической обработкой [22, 23], поверхностной закалкой [24,

25]. В каждом конкретном случае в случае выявления низкой эксплуатационной надежности изделий предприятие-изготовитель должно принять экономически обоснованное решение по применению тех или иных методов ее обеспечения и улучшения.

Таким образом, целью работы является установление причин разрушения комбинированного зажима за счет проведения комплексных исследований свойств материала и геометрических показателей детали с разработкой рекомендаций по повышению его эксплуатационной долговечности.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Анализ причин возникновения дефектов предполагает более подробное исследование деталей с учетом характера и места их поломки. Последовательность проведения комплексного анализа и ее результаты, позволяющие выявить действие факторов, которые снижают функциональную стойкость деталей, приведены в табл. 1.

В табл. 1 включены основные, распространенные методы исследования геометрии и свойств материала деталей, доступные для лабораторий машиностроительных предприятий. На первом этапе измеряются геометрические размеры, эти измерения должны обеспечивать установление размеров в опасных сечения и величину износа по отношению к номинальным значениям. Спектральный анализ необходимо проводить на образцах, вырезанных в местах разрушений, Фрактографический анализ должен выполняться по всей поверхности излома для установления характера и место начала разрушения. Место начала разрушения в дальнейшем, является приоритетным для изготовления образцов для металлографического анализа, которое направлено на установление особенности структурного состояния материала и присутствия дефектов в поверхностном слое.

Измерение твердости и микротвердости в месте разрушения и сердцевине позволяет установить наличие отклонений в прочности материала.

Таблица 1

Требования к методикам исследования деталей для выявления причин разрушений

Table 1

Requirements for methods of examining parts to identify the causes of damage

№ этапа	Метод исследования	Требования к пробоподготовке и образцам	Результаты анализа
1	Измерение геометрической точности размеров	Обеспечение чистоты поверхностей деталей	Размеры в опасных сечениях, отклонения значений размеров, величина износа поверхностей деталей
2	Химико-спектральный анализ	Ближе к месту дефекта	Выявление отклонений хим. состава в месте разрушения
3	Фрактографический анализ	Анализ всей поверхности излома, очага поломки	Установление характера и вида разрушения
4	Металлографический анализ	Подготовка образца в поверхностном слое, в сердцевине	Наличие дефектов в поверхностном слое в месте поломки
5	Измерение твердости	Ближе к очагу разрушения и в сердцевине детали	Оценка потери прочности материал а вблизи места разрушения

Для обработки данных анализа составляется протокол сравнительного исследования деталей высокой и низкой эксплуатационной стойкости позволяющий установить их значимые различия. Таким образом комплексное проведение исследований с обеспечением приведенной выше методологией позволяет с высокой вероятностью выявить причины снижения стойкости и разработать перечень корректирующих мероприятий в действующем произ-

водстве по исключению вредных факторов.

Фрактографический анализ проводился на стереомикроскопе МБС 2, оснащенным программным комплексом Левенгук. Пробоподготовка выполнялась с применением установка электроэрозионной резки металла *DK* 7745 и отрезного станка «*Diskotom*». Металлографический анализ выполнялся с применением микроскопов *IM*7200 (Япония) и Неофот 32, оснащенным программным анализатором *SIAMS* 800. Твердость измерялась на твердомере «ТШ-2М» и ТР 5006. Спектральный анализ выполнялся с использованием спектрометров «*Spektrolab*» и «*CXR*-950», и анализатора серы и углерода *ELTRA GS*-800. Измерения размеров выполнялись с применением высотомера ф. *Mahr Digimahr* 817 *CLM* и электронного штангенциркуля ф. *Mahr* 16 *ER*.

Результаты

Согласно требованиям рабочего чертежа детали российского производителя, размеры всех конструктивных элементов выполняются по 14-му квалитету точности, в том числе и посадочных отверстий, что позволяет производителю не выполнять механическую обработку и снижает затраты изготовления зажима. Материал детали - чугун марки ВЧ 80 ГОСТ 7293-80.

Разработанная схема (рис. 3) обеспечивает измерение основных геометрических показателей, позволяющих оценить особенности износа деталей после их эксплуатации, а также оценить запас прочности материала в месте разрушения.

На рис. 4 приведены приемы измерений отверстий на высотомере. В таблице 2 приведены результаты измерений отверстий и элементов деталей, позволяющие оценить запас прочности деталей по стенкам отверстий детали российского производства. Следует отметить значительное отличие диаметрального размера разрушенного отверстия по сравнению с требованиями чертежа. Действительное значение отверстия около 56 мм, по требованиям чертежа номинальный размер должен быть 63,5 мм.

Толщина стенки по боковым поверхностям отверстия составило величину около 26,3 мм, по чертежным требованиям номинальная величина толщины станки детали составляет величину в 22,1 мм. Толщина детали в месте излома 44,93 мм, при допуске в $44{,}45(\frac{0}{-0{,}62})$. По требованиям чертежа номинальная площадь материала в опасном сечении с левой и правой стороны стенки отверстия 982 мм^2. Фактическая площадь в сечениях отверстия 1184 мм^2 и 1182 мм^2 соответственно, что на 20% больше, чем по требованиям чертежа. Конструктивное исполнение зажима комбинированного российского производителя обеспечивает больший запас прочности, чем задано по требованиям чертежа.

Отклонение от круглости по сечениям вдоль поверхности отверстия под шкворень изменяется в пределах от 0,5 мм до 0,8 мм, что является следствием износа его поверхности под действием эксплуатационных нагрузок. Отклонение профиля продольного в сечении *A* составляет 0,154 мм, а в сечении *B* 0,029 мм. Большие значения отклонений профиля возникают в плоскости действия усилия от шкворня.

В табл. 3 приведены результаты измерений отверстий и элементов детали иностранного производства. Диаметральный размер верхнего отверстия изменяется по отверстию в пределах 63,213…63,222 мм и находится в пределах поля допуска. Толщина стенки по боковым поверхностям отверстия составило величину около 21,65 мм, по чертежным требованиям номинальная величина толщины станки детали составляет величину в 22,1 мм. Толщина элемента детали в направлении оси верхнего отверстия 43,008 мм, при допуске в $44{,}45(\frac{0}{-0{,}62})$. Номинальная площадь материала в опасном сечении с левой и правой стороны стенки отверстия по требованиям чертежа 982 мм^2 . Фактическая площадь соответственно 931 мм^2 и 938 мм^2, что на 4 % меньше площади, чем по требованиям чертежа.

Отклонение от круглости по сечениям вдоль поверхности отверстия под шкворень изменяется в пределах от 0,067 мм до 0,213 мм. Износ отверстия менее значительный, чем у детали российского производства. Отклонение профиля продольного в сечении А составляет 0,0685 мм, а в сечении В 0,077 мм. По нижнему отверстию отклонение от круглости изменяется в меньших пределах от 0,056 до 0,188 мм. По обоим отверстия отклонения от круглости в поле допуска.

Таблица 2

Данные измерений размеров комбинированного зажима российского производителя

Table 2

Measurement data of the dimensions of a Russian-made combined clamp

Измеряемые размеры	Сечение продольное	Отверстие верхнее		Сечение продольное	Отверстие нижнее	
		Сеч. 1-1	Сеч.2-2		Сеч. 3-3	Сеч. 4-4
Диаметральный размер *D*в*A*, *D*в*B*, *D*н*A*, *D*н*B*, мм	*A*	56,596	56,905	*C*	43,472	43,085
	B	55,417	55,359	*D*	43,378	42,903
Линейный размер середины диаметра, *H*в1, *H*.в2, *H*н1, *H*н2, мм	*A*	296,475	–	*C*	105,562	107,741
	B	295,871	–	*D*	104,741	105,969
Толщина стенки *S*л, *S*п, мм	26,35	26,30				
Толщина детали в месте поломки *B*, мм	44,934					

Таблица 3

Данные измерений размеров комбинированного зажима иностранного производителя

Table 3

Measurement data of the dimensions of a foreign-made combined clamp

Измеряемые размеры	Сечение продольное	Отверстие верхнее		Сечение продольное	Отверстие нижнее	
		Сеч. 1-1	Сеч.2-2		Сеч. 3-3	Сеч. 4-4
Диаметральный размер *D*в*A*, *D*в*B*, *D*н*A*, *D*н*B*, мм	*A*	63,426	63,289	*C*	42,644	43,011
	B	63,000	63,155	*D*	43,020	43,123
Линейный размер середины диаметра, *H*в1, *H*в2, *H*н1, *H*н2, мм	*A*	294,315	---	*C*	104,644	104,489
	B	293,60	---	*D*	104,748	104,215
Толщина стенки *S*л, *S*п, мм	21,65	21,85				
Толщина детали в месте поломки *B*, мм	43,008					

На рис. 5 приведены фотографии излома стенки отверстия разрушенной детали. Излом ориентирован в плоскости, перпендикулярной направлению действия изгибающего момента действующего на поверхность отверстия от шкворня. Очаг разрушения находится по внутренней поверхности в средней и верхней его части. Как правило на изломе выделяют очаг возникновения трещины, зоны усталостного развития трещины, ускоренного развития трещины и долома. На изломе детали не выражены усталостные зоны развития микротрещин, и зона долома, следовательно, разрушение носит быстротекущий характер. Увеличенный фрагмент поверхности излома содержит рубцы развития трещины. Характер зоны ускоренного развития трещины имеет признаки кристаллического излома, что свидетельствует о внезапном хрупком разрушении. На увеличенной фотографии зоны зарождения разрушения в поверхностном слое имеется поверхностный дефект, размерами 1,25 мм.

Для установления структурного состояния в зоне разрушения выполнено исследование специального образца, взятого от участка разрушения. Микрошлиф сделан на боковой поверхности с выходом на излом. Вокруг участков с окисными пленами и шлаковыми включениями (рис. 6) присутствуют незначительные включения пластинчатого графита.

На рис. 7 приведены результаты металлографического анализа материала детали российского производства. На нетравленных образцах (рис. 7а) выявлена форма графитовых включений. Видно, что в чугуне присутствуют включения графита шаровидной формы, что свидетельствует о том, что чугун относится к группе высокопрочных согласно НТД.

На травленных образцах микроструктура образцов состоит из шаровидного (неправильного и правильного) графита, распределенного преимущественно равномерно с размером 25…45 мкм в количестве 2…4 % с небольшим количеством цементитных включений (рис. 7б). Микроструктура металлической основы чугуна – бейнит.

Твердость измеряли по методу Бринелля на твердомере ТШ-2М, она принимает значения в диапазоне 372-388 НВ. На рис. 7 приведены результаты металлографического исследования материала детали иностранного производства. Данные по металлической основе аналогичны данным российского производителя. Твердость материала детали находится в диапазоне 313-321 НВ.

В табл. 4 приведены сведения по содержанию химических элементов исследуемых деталей и требования по ГОСТ 7293-85 для высокопрочного чугуна марки ВЧ80.

Таблица 4

Химический состав материала комбинированных зажимов

Table 4

Chemical composition of the material of combined clamps

№	Название химического элемента	Содержание элемента, мас. %		
		Деталь зарубежного производства	Деталь российского производства	ГОСТ 7293-85
1	Углерод (С)	---	---	3,2 -3,6
2	Кремний (Si)	2,36	2,48	2,6 -2,9
3	Марганец(Mn)	0,23	0,64	0,4-0,7
4	Хром (Cr)	0,03	0,10	≤ 0,15
5	Никель (Ni)	0,05	0,46	~ 0,6
6	Медь (Cu)	0,56	0,66	≤ 0,6
7	Сера (S)	0,01	0,03	≤ 0,01
8	Фосфор (P)	0,03	0,05	≤ 0,1

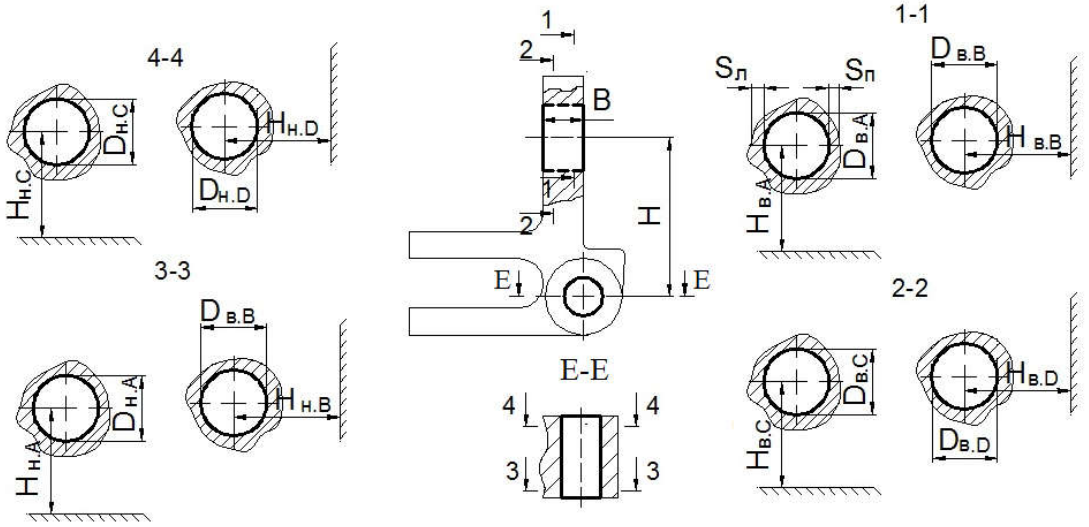


Рис. 3 Схема измерений геометрических размеров деталей

Fig. 3 Measurement scheme for geometric dimensions of parts

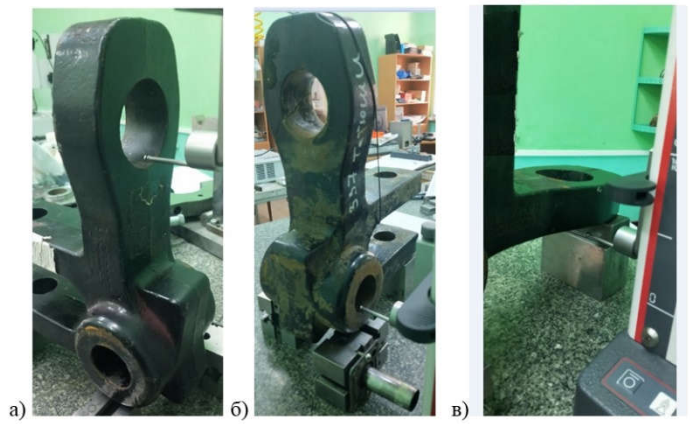


Рис. 4 Измерение размеров комбинированных зажимов с применение высотомера ф. *Mahr Digimah*r 817 *CLM*: а – верхнего отверстия, б – нижнего отверстия, в – длины отверстия

Fig. 4 Measurement of the dimensions of combined clamps using the Mahr Digimahr 817 CLM altimeter: a) top hole, b) bottom hole, c) hole length

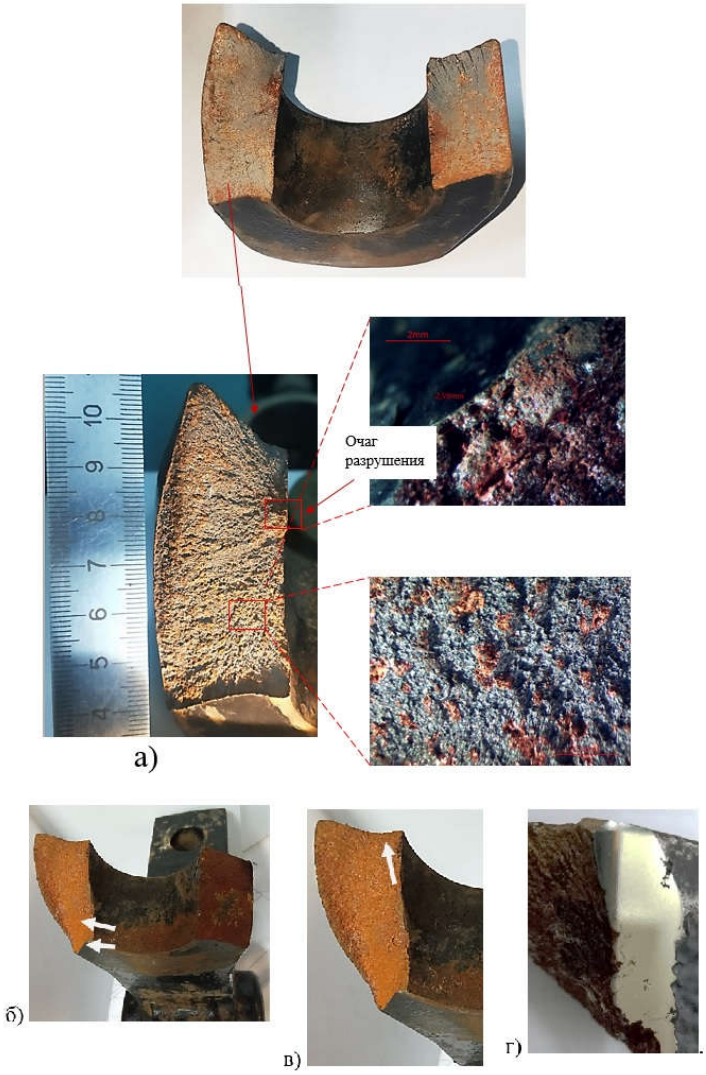


Рис. 5 Вид излома детали с расположенным очагом разрушения – а и места отбора образцов – б, в для металлографических исследований

Fig. 5. View of the fracture of a part with a localized fracture site (a) and the locations of sample selection (b, c) for metallographic studies

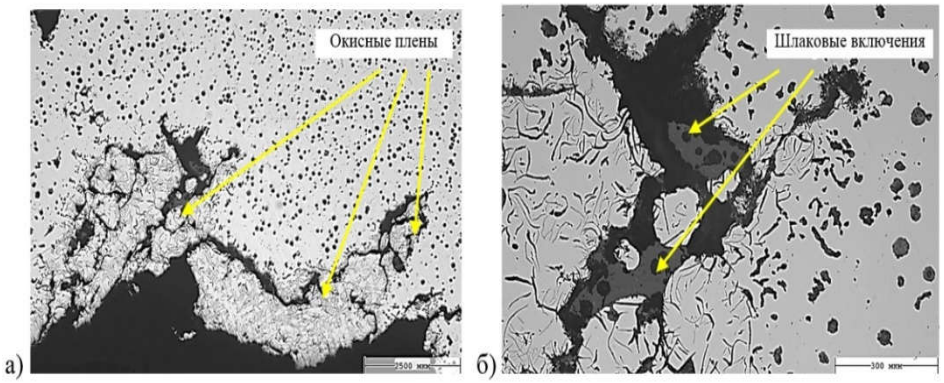


Рис. 6 Окисные плены ×25 (а) и шлаковые включения (б) ×100
в поверхностном слое базового отверстия
Fig. 6. Oxidation films x 25 (a) and slag inclusions (b) x 100
in the surface layer of the base hole

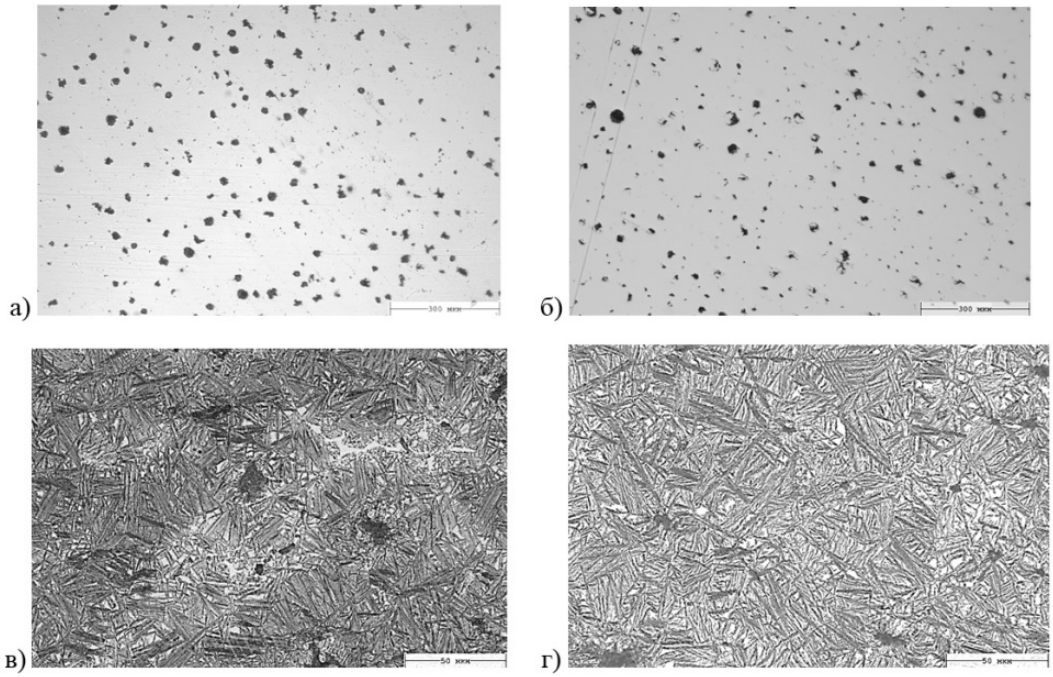


Рис. 7 Форма, размеры и распределение графитовых включений ×100 – а, б
и микроструктура металлической основы ×500 – в, г
чугуна детали российского – а, в и импортного – б, г производства
Fig. 7 Shape, size, and distribution of graphite inclusions (a, b) and microstructure
of the metal base (c, d) of Russian-made (a, c) and imported (b, d) cast iron parts

Обсуждение/Заключение

1. По данным выполненных измерений установлено:

– деталь импортного производства имеет: диаметр отверстия 63,2 мм, толщину стенки 21,6 мм, и отклонение по круглости отверстия менее 0,213 мм. Отклонение профиля продольного сечения не более 0,08 мм. Наименьшая площадь опасного сечения 982 мм^2;

– деталь отечественного производства имеет: диаметр отверстия 55,3 мм, толщину стенки 26,3 мм и отклонение от круглости в диапазоне от 0,5 до 0,8 мм. Отклонение профиля продольного сечения не более 0,16 мм. Наименьшая площадь опасного сечения 1182 мм^2.

По данным измерений исследованных деталей форма отверстия не приводит к значительным перекосам шкворня в опасном сечении.

2. Для изготовления деталей использован высокопрочный чугун в тер-

мообработанном состоянии со структурой металлической основы бейнит и имеющий твёрдость у детали российского производителя в пределах 372-388 НВ. у зарубежного производителя 313-321 НВ.

3. В районе отверстия по месту разрушения у детали российского производителя выявлены шлаковые включения и окисные плены на глубину до 1,5 мм, которые могут инициировать зарождение трещин и разрушение детали в эксплуатации.

4. Фрактографический анализ выявил, что очаг разрушения комбинированного зажима происходит в поверхностном слое отверстия под рабочий шкворень. Излом детали имеет признаки хрупкого разрушения.

Для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости у детали российского производителя рекомендуется:

– выполнять операции расточки отверстия, что устранит дефекты литья, повысит точность отверстия до 10-го квалитета и уменьшит величину допуска посадки отверстия со шкворнем;

– для повышения сопротивляемости чугуна хрупкому разрушению рекомендуется уменьшить твердость материала детали на 40-50 НВ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ эффективности традиционных и перспективных конструкций сцепных устройств прицепов с транспортными средствами / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, И. В. Сизьмин, А. В. Латынин // Воронежский научно-технический Вестник. 2020. Т. 1, № 1(31). С. 58-86.
2. Patent for invention FR 2096075, IPC B60D 1/02, B60D 1/07. Trailer fork / Werle Arnold. – № 7120751; stat. 08.06.1971 ; publ. 11.02.1972.
3. Patent for invention FR 2252744, IPC B60D 1/32. Device for damping of whip movements between tractor vehicle and trailer / Graubremse GmBh. – № 7235907; stat. 11.10.1972 ; publ. 20.06.1975.
4. Patent for invention FR 2335363, IPC B60D 1/32. Shock absorber linking tractor and trailer – is horizontally mounted one end on tractor towing ball and in line with trailer center of gravity / Burigana Georges. – № 7539409; stat. 15.07.1977 ; publ. 15.07.1977.
5. Patent for invention US 4133552, IPC B60D 1/00, B60D 1/32. Control means for a vehicular tractor-trailer connection / Sheine Gerald. – № 5806861 ; stat. 15.06.1977 ; publ. 09.01.1979.
6. Patent for invention US 4382609, IPC B60D 1/00, B60D 1/07. Intechangeable fixed or damped towing system / Hemmings Davis L.; Applicant : The United States of America as represented by the Secretary of the Army. – № 6321502 ; stat. 16.11.1981 ; publ. 10.05.1983.
7. Повышение износостойкости и других ресурсных характеристик материалов рабочих органов почвообрабатывающих машин / С. А. Сидоров, Д. А. Миронов, А. В. Миронова, В. В. Рябов // Металлург. 2021. № 5. – С. 93-99
8. Костылева Л.В. Комплексное влияние химического состава чугуна на структуру отбеленного слоя долота чизельного плуга / Костылева Л.В., Гапич Д.С., Моторин В.А. Курбанов Д.Б // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2016 №2. С. 221.
9. Костылева Л.В. Комплексное влияние химического состава чугуна на структуру отбеленного слоя долота чизельного плуга / Л.В. Костылева, Д.С. Гапич, В.А. Моторин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2. С. 221-228.
10. Гапич Д. С. Структурирование функциональных зон рабочих органов чизельных орудий / Д. С. Гапич, В. А. Моторин, Д. Б. Курбанов // Орошаемое земледелие. 2019. № 4. С. 51-54.
11. Моторин В.А. Структурирование рабочих органов из высокопрочного чугуна / В.А. Моторин, Д.Б. Курбанов // 21 век: фундаментальная наука и технологии: матер. XVII международной научно-практической конф., North Charleston, USA, 1-2 октября 2018 г. / ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ [и др.]. North Charleston, 2018. Том 2. С. 98-100.
12. Panneerselvam S., Martis C.J., Putatunda S.K., Boileau J.M., 2015. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) (Article) Materials Science and Engineering A Volume 626, February 05, 2015. P. 237-246.
13. Формирование зонально-структурированных рабочих органов из высокоуглеродистых сплавов / В. А. Моторин, А. В. Точилина, М. А. Жигалов, М. Д. Уваров // Орошаемое земледелие. 2018. № 4. С. 61-64.
14. Патент № 2826505 C1 Российская Федерация, МПК C21D 1/19, C21D 5/00, B21K 19/02. Способ производства анкерных сошников стерневых сеялок с распределением металлографических структур по функциональным зонам : № 2023132267 : заявл. 07.12.2023 : опубл. 11.09.2024 / В. А. Моторин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образо-

вательное учреждение высшего образования Волгоградский государственный аграрный университет. 11 с.
15. Титов Н. В. Анализ перспективных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин / Н. В. Титов, А. В. Коломейченко, В. В. Виноградов // Техника и оборудование для села. 2013. № 10. С. 33-36.
16. Бирюков В,П. Повышение износостойкости при лазерной обработке почвообрабатывающих орудий // Труды ГОСНИТИ М. 2011 Т.107, Ч. 2 С. 105-106.
17. Рыжих Ю.Л. Метод электродуговой скоростной цементации почвообрабатывающей и другой техники / Труды ГОСНИТИ. М. 2008 Т. 101 С. 168-173.
18. Литовченко Н.Н., Титов Н.В., Коломейченко А.В. Электровибродуговое упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами / Тракторы и сельхозмашины 2013 № 2 С. 49-50.
19. Ушаков А. Е. Разработка перфорированного элемента рабочего органа глубокорыхлителя: топологическая оптимизация / А. Е. Ушаков // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 3. С. 11-18.
20. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров пахотно-фрезерного агрегата / Х. Х. Ашабоков1, А. К. Апажев1, Ю. А. Шекихачев1 [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 152. С. 275-287.
21. Апажев А.К. Рациональные параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов // Известия Горского государственного аграрного университета. – Владикавказ: Изд–во ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2016. Т 53. Ч. 2. С. 138–143.
22. Жумаев А. А. Анализ микроструктуры износостойких хромистых чугунов после термической обработки / А. А. Жумаев, К. Э. Барановский, Ю. Н. Мансуров // Литье и металлургия. 2021. № 1. С. 142-148.
23. Технологические решения при импортозамещении деталей почвообрабатывающих орудий / А. Г. Садриев, А. В. Загинайлов, Т. В. Швеева [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2025. Т. 27, № 3. С. 90-99.
24. Морозов А. В. Повышение износостойкости отверстий с неравномерными износами электромеханической закалкой фасонным инструментом / А. В. Морозов, С. К. Федоров, В. А. Фрилинг – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. 186 с.
25. Ляшенко Б. А., Ю. С. Самотугина. Влияние состава и исходной структуры чугуна на эффективность плазменного поверхностного упрочнения / Металлургические процессы и оборудование. 2007. № 1(7). С. 18-22.

REFERENCES

1. Posmetyev VI, Nikonov VO, Sizmin VI, Latynin AV. Analysis of the effectiveness of traditional and promising designs of trailer coupling devices with vehicles. Voronezh Scientific-Technical Bulletin. 2020;1(31):58-86.
2. Werle A. Trailer fork. Patent for invention FR 2096075, IPC B60D 1/02, B60D 1/07. /. 11 Febr 1972.
3. Graubremse GmBh. Device for damping of whip movements between tractor vehicle and trailer. Patent for invention FR 2252744, IPC B60D 1/32. /. 20 Jun 1975.
4. Burigana G. Shock absorber linking tractor and trailer – is horizontally mounted one end on tractor towing ball and in line with trailer center of gravity. Patent for invention FR 2335363, IPC B60D 1/32. /. 15 Jul 1977.
5. Sheine G. Control means for a vehicular tractor-trailer connection. Patent for invention US 4133552, IPC B60D 1/00, B60D 1/32. /. 09 Jan 1979.
6. Hemmings DL. Intechangeable fixed or damped towing system. Patent for invention US 4382609, IPC B60D 1/00, B60D 1/07. 10.May 1983.
7. Sidorov SA, Mironov DA, Mironova AV, Ryabov VV. Increase of wear resistance and other resource characteristics of materials of working bodies of tillage machines. Metallurg. 2021;5:93-99.
8. Kostyleva L.V. The complex effect of the chemical composition of cast iron on the structure of the bleached chisel bit layer. / Kostyleva L.V., Gapich D.S., Motorin V.A. Kurbanov D.B. // Extracts from the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex. 2016 No. 2. p. 221.
9. Kostyleva LV, Gapich DS, Motorin VA. Iron chemical composition integrated influence on chisel plow bits bleached layer structure. Proceedings of Nizhegorodskiy Agrouniversity Complex: Science and Hiehger Vocational Education. 2016;2:221-228.
10. Gapich DS, Motorin VA, Kurbanov DB. Structuring of functional zones of working bodies of chisel tools. Irrigated Agriculture. 2019;4:51-54.
11. Motorin VA, Kurbanov DB. Structuring of working bodies made of high-strength cast iron. Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference, October 1-2, 2018: 21st century: Fundamental SScience and Technology; North Charleston, USA, Volgograd State Agrarian University; 2018.
12. Panneerselvam S, Martis CJ, Putatunda SK, Boileau JM. 2015. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron

(ADI). Materials Science and Engineering. 2015;626:237-246.
13. Motorin VA, Tochilina AV, Zhigalov MA, Uvarov MD. Formation of zonally structured working bodies from high-carbon alloys. Irrigated Agriculture. 2018;4:61-64.
14. Motorin VA. Method of production of anchor coulters of stubble seylocks with the distribution of metallographic structures by functional zones. Patent RF No. 2826505 C1 МПК C21D 1/19, C21D 5/00, B21K 19/02. 11 Sept 2024.
15. Titov NV, Kolomeichenko AV, Vinogradov VV. Analysis of promising methods of strengthening the working bodies of tillage machines. Machinery and Equipment for Rural Area. 2013;10:33-36.
16. Biryukov VP. Increasing wear resistance during laser treatment of tillage materials. Proceedings of GOSNITI. 2011;107(2):105-106.
17. Ryzhikh YuL. Method of electric arc high-speed cementation of tillage and other equipment. Proceedings of GOSNITI. 2008;101:168-173.
18. Litovchenko NN, Titov NV, Kolomeichenko AV. Electro-electric arc hardening of working bodies of tillage machines with ceramic and metal materials. Tractors and Agricultural Machinery. 2013;2:49-50.
19. Ushakov AE. Designing the perforated element of a subsoil plate: topological optimization. Agricultural Engineering. 2024;26(3):11-18.
20. Ashabokov KhKh, Apazhev AK, Shekikhachev YuA. Theoretical substantiation of the design and operating parameters of an arable milling unit. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2019;152:275-287.
21. Apazhev AK, Shekikhachev YuA, Khazhmetov LM. Rational parameters and operational modes of a combined tillage unit. Izvestiz of the Gorsk State Agrarian University. 2016;53(2):138-143.
22. Zhumaev AA, Baranovsky KE, Mansurov YuN. Analysis of the microstructure of wear-resistant chromium cast iron after heat treatment. Foundry Production and Metallurgy. 2021;1:142-148.
23. Sadriev AG, Zaginailov AV, Shveeva TV. Technological solutions for the import substitution of parts of tillage implements. Vestnik Permskogo Natsionalynogo Issledovatelyskogo Politehnicheskogo Universiteta. Mashinostroenie, Materialovedenie. 2025; 27(3):90-99.
24. Morozov AV, Fedorov SK, Freeling VA. Increasing the wear resistance of surfaces with uneven wear by mechanical hardening with shaped tools. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin; 2022.
25. Lyashenko BA, Samotugina YuS. Influence of cast iron composition and initial structure on the effectiveness of plasma surface hardening. Metallurgical Processes and Equipment. 2007;1(7):18-22.

Информация об авторах:

Астащенко Владимир Иванович –доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета тел. +7 (8552) 58-99-66, Scopus Author ID: 6507110140, AuthorID-РИНЦ 696883.
Мифтахов Фарит Камильевич – ассистент кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета тел. +7 (8552) 58-99-66.
Каблуков Виктор Валерьевич – аспирант кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета тел. +7 (8552) 58-99-66.
Исхаков Талгат Фаузатович – аспирант кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета, тел. +7 (8552) 58-99-66.
Гимазетдинова Чулпан Альбертовна – научный сотрудник передовой инженерной школы Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета тел.: +7 (8552) 58-95-26, AuthorID-РИНЦ 1314785.

Astashchenko Vladimir Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Materials, Technologies and Quality at Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University; phone: +7 (8552) 58-99-66, Author ID: 6507110140, AuthorID-RSCI 696883.
Miftakhov Farit Kamilievich – Assistant of the Department of Materials, Technologies and Quality at Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University; phone: +7 (8552) 58-99-66.
Kablukov Viktor Valerievich – Postgraduate student of the Department of Materials, Technologies and Quality at Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University; phone: +7 (8552) 58-99-66.
Iskhakov Talgat Fauzatovich – Postgraduate student of the Department of Materials, Technologies and Quality at Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University; phone: +7 (8552) 58-99-66.
Gimazetdinova Chulpan Albertovna – Researcher at the Advanced Engineering School of Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University; phone: +7 (8552) 58-95-26, AuthorID RSCI 1314785.

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 02.03.2026; одобрена после рецензирования 01.07.2026; принята к публикации 27.07.2026. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», проректор по научной работе Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 02.03.2026; approved after review on 01.07.2026; accepted for publication on 27.07.2026. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Vice–Rector for Research at Bryansk State Technical University at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.