

Научная статья  
УДК 621.79:621.81

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ПРОВОЛОКАМИ Св-08 И Св-18ХГС, ПУТЁМ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ В ВЫСОКОАКТИВНОЙ ПАСТЕ

<sup>1</sup>Александр Александрович Сафонов, <sup>2</sup>Елена Валентиновна Трусова

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Курский ГАУ, Курская область, Курск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Курский государственный университет» Курская область, Курск, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассматривается проблема повышения износостойкости деталей машин, восстанавливаемых наплавкой проволоками Св-08 и Св-18ХГС. Износ деталей машин является одной из основных причин их выхода из строя, что приводит к значительным экономическим затратам. Для решения этой проблемы предлагается метод нитроцементации в высокоактивной пасте, который позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики восстановленных деталей. В работе представлены результаты исследования влияния режимов нитроцементации наплавленного покрытия в высокоактивной пасте и пути повышения его износостойкости. Наплавка производилась низкоуглеродистой проволокой Св-08 и легированной проволокой Св-18ХГС в среде защитного газа. Так же показано как применение нитроцементации в высокоактивной пасте на основе сажи с азотистыми добавками может повысить износостойкость в наплавленных слоях восстановленной детали. В ходе исследования были проведены эксперименты, показывающие, что применение нитроцементации в сочетании с наплавкой значительно увеличивает предел прочности, твердость и коррозионную стойкость изделий. Особое внимание уделено составу высокоактивной пасты, которая обеспечивает глубокую диффузию элементов, способствующих образованию прочного поверхностного слоя. Результаты экспериментов были проанализированы с использованием современных методов испытаний, подтверждающих эффективность предложенного подхода. Проведенное исследование открывает новые перспективы для повышения надежности и долговечности восстановленных машинных деталей, что является актуальной задачей для машиностроительной отрасли. В процессе экспериментов также было установлено, что оптимизация температуры и времени нитроцементации позволяет добиться максимального эффекта улучшения износостойкости. Выбор параметров процесса имеет ключевое значение, так как недостающая температура может привести к недостаточному проникновению активных элементов в структуру материала, тогда как избыточная температура может вызвать его преждевременное разрушение. Данный метод может быть внедрён в ремонтное производство и решить проблему запасных частей в автомобилестроении.

**Ключевые слова:** детали машин, нитроцементация, износостойкость.

**Для цитирования:** Сафонов А.А., Трусова Е.В. К вопросу о повышении износостойкости деталей машин восстановленных наплавкой проволоками Св-08 и Св-18ХГС, путём нитроцементации в высокоактивной пасте // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 1 (107). С. 52-57.

Original article

## TO THE PROBLEM OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS RESTORED BY SURFACING WITH SV-08 AND SV-18KHGS WIRES BY NITROCEMENTATION IN A HIGHLY ACTIVE PASTE

<sup>1</sup>Alexandr A. Safonov, <sup>2</sup>Yelena V. Trusova

<sup>1</sup>Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk region, Kursk, Russia

<sup>2</sup>Kursk State University, Kursk region, Kursk, Russia

**Abstract.** This article discusses the problem of increasing the wear resistance of machine parts restored by surfacing with Sv-08 and Sv-18KhGS wires. The wear of machine parts is one of the main reasons for their failure, which leads to significant economic costs. To solve this problem, the nitrocementation method in high-active paste is proposed, which allows improving the performance of the recovered parts significantly. The paper presents the results of the research on the influence of nitrocementation modes of the fused coating in a highly active paste and ways to increase its wear resistance. The surfacing was performed with low-carbon wire Sv-08 and alloyed wire Sv-18KhGS in a protective gas environment. It is also shown how the use of nitrocementation in the highly active paste based on carbon black with nitrogen additives can increase wear resistance in the surfacing layers of the restored part. The research included the experiments showing that the use of nitrocementation together with surfacing significantly increases the tensile strength, hardness and corrosion resistance of the products. Particular attention was paid to the composition of the highly active paste, which ensures deep diffusion of elements contributing to the formation of a durable surface layer. The results of the experiments were analyzed by using modern testing methods, confirming the effectiveness of the proposed approach. The conducted research opens up new prospects for increasing the reliability and durability of the restored machine parts that is an urgent

task for the mechanical engineering industry. In the process of the experiments optimizing the temperature and time of nitrocementation was established to allow achieving the maximum effect of improving wear resistance. The choice of process parameters is of prime importance, since the deficient temperature can lead to insufficient penetration of active elements into the structure of the material, while the excess temperature can cause its premature destruction. This method can be implemented in repair production and solve the problem of spare parts in the automotive industry.

**Keywords:** machine parts, nitrocementation, wear resistance.

**For citation:** Safonov A.A., Trusova E.V. To the issue of increasing the wear resistance of machine parts restored by surfacing with Sv-08 and Sv-18kHGS wires by nitrocementation in a highly active paste // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. 1 (107): 52-57.

**Введение.** Восстановление износостойких деталей машин наплавкой для компенсации удалённого с рабочих поверхностей металла является наиболее распространённым методом их реновации, используемом в ремонтном производстве [1, 2]. Наплавка позволяет восстановить первоначальную форму и размеры деталей, однако первоначальные свойства, которые имела новая деталь, во многих случаях восстановить не удаётся. Особенно остро эта проблема проявляется в случаях восстановления ответственных деталей из легированных сталей (таких, например, как шлицевые валы), упрочняемых при изготовлении термической или химико-термической обработкой и имеющих повышенные прочностные и эксплуатационные свойства.

Наплавка под слоем флюса или в среде защитных газов производится обычно низкоуглеродистыми проволоками, которые образуют наплавленные покрытия со свойствами (твёрдостью, износостойкостью и др.) более низкими, чем свойства основного металла восстанавливаемой детали. Одним из важнейших эксплуатационных свойств деталей, работающих в условиях трения, является износостойкость, определяющая долговечность отремонтированных машин и соответственно, эффективность их ремонта.

Радикальным способом повышения твёрдости и износостойкости наплавленных покрытий может их химико-термическая обработка, в частности цементация или нитроцементация, которая обогащает наплавленный металл элементами внедрения (С и N) и приближает его состав к составу основного металла, что обуславливает возможность получения сходных свойств наплавки и основы [3, 4].

Однако при использовании химико-термической обработки (ХТО) в ремонтном производстве, возникают технологические трудности, связанные с необходимостью использовать специальное оборудование. Наиболее простой метод ХТО – твёрдая цементация, так же не может быть рекомендована для упрочнения деталей с наплавленными покрытиями, поскольку упрочнение происходит не избирательно и при весьма высокой температуре. Более подходящим методом будет нитроцементация с использованием высокоактивного пастообразного карбюризатора при пониженной температуре.

Такой карбюризатор представляет собой густую пасту на основе мелкозернистой сажи (аморфного углерода) с азотосодержащими добавками (карбамидом и железосинеродистым калием) и пастообразующей жидкостью (ПВА). Пасту можно наносить локально на места нуждающиеся в упрочнении (на наплавленные участки) и проводить обработку при пониженной температуре, поскольку азот и углерод усиливают друг друга в стали [5]. Таким образом, будет возможно улучшить свойства наплавленных покрытий и значительно повысить технический уровень реновации изношенных деталей.

**Целью исследования,** результаты которого представлены в настоящей работе является изучение влияния режимов нитроцементации наплавленного покрытия в высокоактивной пасте на износостойкость и определение путей повышения этого свойства.

**Материалы и методы исследования.** Образцы для исследования представляют собой ролики из стали 30ХГСА (диаметром 50 мм и шириной 10 мм) на образующие поверхности которого наносились наплавленные покрытия толщиной 3 мм (после механической обработки). Наплавка производилась низкоуглеродистой проволокой Sv-08 и легированной проволокой Sv-18ХГС (ГОСТ 2246-70) в среде защитного газа («Коргон»).

Ролики с наплавленными покрытиями подвергались нитроцементации в пастообразном карбюризаторе в интервале температур 550...750°C и при выдержке от 1 до 4-х часов. Нитроцементацию проводили в закрытых контейнерах (стальных стаканах) с нагревом в каменной печи. Перед нитроцементацией образцы по наплавленным поверхностям покрывают нитроцементующей пастой (слоем 5 мм) и высушивали. Затем их укладывали в контейнер и засыпали нейтральным наполнителем (порошковой смесью сажи и углекислым калием), закрывали крышкой и герметизировали песочным затвором. Отсчёт времени нитроцементации начинали после прогрева контейнера, помещённого в печь. По окончании нитроцементации образцы охлаждали в воде (высыпали содержимое контейнера в ёмкость с водой).

При оценке износостойкости наплавленных слоёв, упрочнённых нитроцементацией, была принята методика, которая в наибольшей степени воспроизводит условия трения и нагрузки, характерные для большинства числа подвижных соединений в современных машинах, в частности шлицевых соединений в карданных валах. Детали таких соединений, как правило, работают в условиях недостаточной смазки с твёрдыми абразивными частицами в зоне трения, которые попадают туда в процессе эксплуатации из-за несовершенства защитных устройств или из-за отсутствия таковых [6, 7].

Износ нитроцементованных покрытий, наплавленных проволоками Св-08 и Св-18ХГС, определяли на машине трения СМЦ-2 по схеме «ролик-колодка». Колодки (контртела) изготавливали из стали 30ХГСА и закаляли до твёрдости HRC 50...52. Каждая пара трения (ролик и колодка) прирабатывались в течение 30 мин с порошком электрокорунда М14, после чего тщательно промывались в ацетоне.

Испытания образцов проводили по двум вариантам: при подаче в зону трения чистой смазки И-14 («Веретённое № 2 ГОСТ 20799») и при подаче в зону трения той же смазки, загрязнённой мелкими абразивными частицами. В обоих случаях частота вращения ролика (образца) составляла 1000 об/мин, нагрузка на трущиеся поверхности – 2,5 МПа, длительность испытания принималась различной. Износ образцов определяли весовым методом с использованием аналитических весов ВЛА-2000М.

**Результаты и обсуждения.** Испытание нитроцементованных образцов с наплавками Св-08 и Св-18ХГС в условиях трения с граничной смазкой без абразива показало, что в этих условиях износ образцов обоих типов оказался весьма незначительным (табл. 1).

Таблица 1 – Износ нитроцементованных наплавленных покрытий Св-08 и Св-18ХГС при трении со смазкой без абразива

Тип наплавки	Время испытания, ч	Износ образцов, $\text{ч} \cdot 10^{-5}$				
		Температура нитроцементации, $^{\circ}\text{C}$				
		550	600	650	700	750
Св-08	2	18	15	20	26	38
	4	16	18	32	–	–
	6	20	20	35	–	–
Св-18ХГС	2	10	10	12	23	36
	4	12	12	14	–	–
	6	14	14	18	–	–

Как видно из результатов эксперимента максимальная интенсивность изнашивания у наплавов обоих типов наблюдается в начале испытаний. Так например, у образца с наплавкой Св-08, нитроцементованной при температуре  $600^{\circ}\text{C}$ , износ за первые два часа составил  $15 \cdot 10^{-5}$  ч, а за последующие два часа он увеличился всего на  $3 \cdot 10^{-5}$  ч (до  $18 \cdot 10^{-5}$  ч за четыре часа испытания). Дальнейшее увеличение времени испытания приводит к таким же результатам – к весьма небольшому увеличению износа (до  $20 \cdot 10^{-5}$  ч за шесть часов испытания). Очевидно, что максимальный износ в первые два часа испытаний обуславливается приработкой трущихся поверхностей образца и контртела.

По результатам эксперимента прослеживается некоторая тенденция к увеличению интенсивности износа наплавленных покрытий с повышением температуры их нитроцементации, причем это повышение имеет место как при испытании простого углеродистого покрытия (Св-08), так и при испытании легированного покрытия (Св-18ХГС). На рисунке 1 представлены зависимости износа наплавов от температуры нитроцементации.

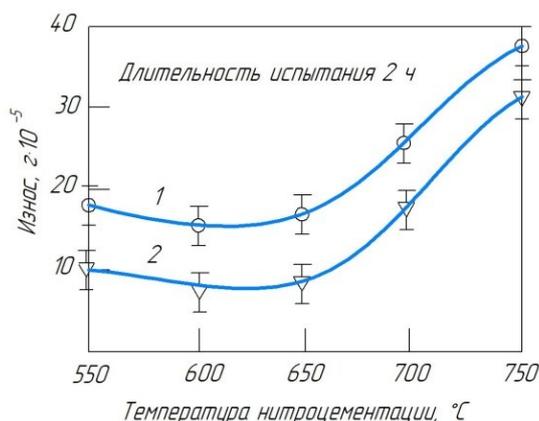


Рисунок 1 – Зависимости износа наплавленных покрытий от температуры нитроцементации: 1– наплавка Св-08; 2– наплавка Св-18ХГС

Испытания на изнашивание наплавленных нитроцементованных покрытий в условиях трения со смазкой, загрязнённой абразивом проводили по тем же режимам, что и в предыдущем эксперименте. Отличие заключалось в том, что индустриальное масло, используемое в качестве смазки, добавляли мелкий молотый песок (мартенсит с частицами крупностью до 15 мкм). На один литр индустриального масла добавляли 15 г порошка мартенсита и постоянно перемешивали до создания возможности однообразной суспензии. В таблице 2 приведены результаты испытаний нитроцементованных покрытий при трении в присутствии абразива.

Таблица 2 – Износ нитроцементованных наплавленных покрытий Св-08 и Св-18 ХГС при трении со смазкой, содержащей кварцевый абразив (время испытания 2 часа)

Тип наплавки	Время испытания, ч	Износ образцов, $\text{ч} \cdot 10^{-5}$				
		Температура нитроцементации, °С				
		550	600	650	700	750
Св-08	2	240	230	228	285	395
Св-18ХГС	2	197	180	175	242	355

Интенсивность изнашивания нитроцементованных наплавов в присутствии абразива, как показал эксперимент, примерно на порядок и выше интенсивности изнашивания без абразива.

Несколько пониженная износостойкость нитроцементованных наплавов Св-08 по сравнению с наплавками Св-18ХГС объясняется, по-видимому, тем, что в последнем случае на поверхности наплавов присутствуют легированные фазы, имеющие более высокую стойкость, чем нелегированные.

Влияние температуры нитроцементации на износ образцов, наплавленных проволоками Св-08 и Св-18ХГС, представлено на рисунке 2.

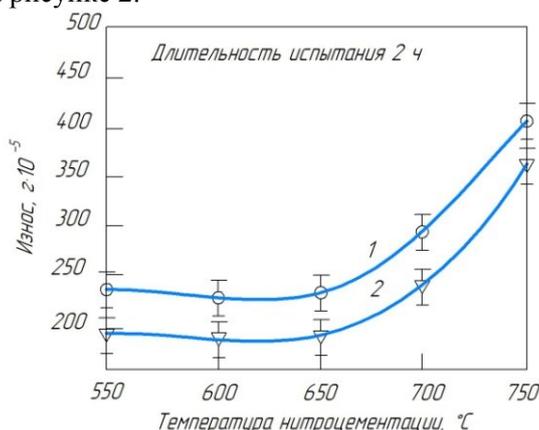
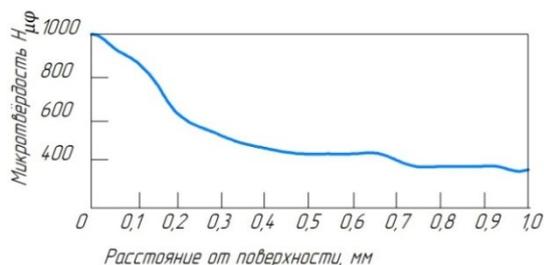


Рисунок 2 – Зависимости износа нитроцементованных наплавов при трении со смазкой, загрязненной абразивными частицами, от температуры нитроцементации:  
1 – наплавка Св-08, 2 – наплавка Св-18ХГС

Высокую износостойкость наплавов, нитроцементованных при низких температурах, можно объяснить особенностями их микроструктуры (рис. 3).



а)



б)

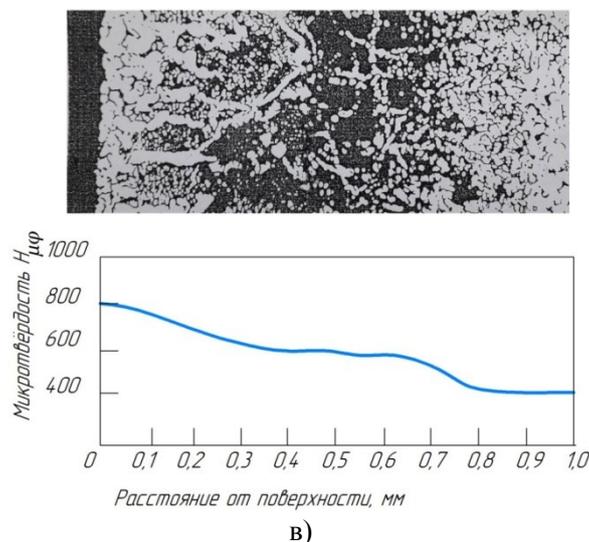


Рисунок 3 – Микроструктуры нитроцементованных слоёв на наплавленном покрытии Св-18ХГС и распределение микротвёрдости по сечению наплавок, нитроцементованных при различных температурах: а – 550°С; б – 650°С; в – 750°С

На поверхности наплавленного металла, нитроцементованного при температурах 550...580°С, когда в сталь диффундирует в основном азот, образуя сплошной слой гексагонального карбонитрида  $\epsilon$ , изотопного с одноимённым нитридом [8]. Этот слой имеет очень высокую твёрдость, сравнимую с твёрдостью кварцевых абразивных частиц, и к тому же обладает низким коэффициентом трения (рис. 3а). Названные свойства карбонитрида  $\epsilon$  обуславливают высокую износостойкость нитроцементованного покрытия как при испытании без абразива, так и с абразивом, что и показали упомянутые выше эксперименты (рис. 1 и 2).

Однако толщина корки карбонитрида  $\epsilon$ , получающаяся при низкотемпературной нитроцементации, весьма невелика, под ней находится более обширная область азотистого  $\alpha$  – твёрдого раствора, твёрдость которого гораздо ниже. Положительная роль азотистого твёрдорастворного слоя под коркой карбонитрида сводится к тому, что он служит твёрдой основой, подпирющей карбонитриды и препятствующей растрескиванию твёрдой корки под нагрузкой.

При температурах нитроцементации выше 600°С, когда в металл наряду с азотом начинает поступать углерод, на поверхности наплавок образуются более глубокие карбонитридные слои, состоящие из двух зон (рис. 3, б). На самой поверхности присутствует зона карбонитрида, изоморфного с цементитом, под ней – зона карбонитрида  $\epsilon$  [9, 10].

Карбонитрид цементитного типа имеет несколько меньшую твёрдость, чем карбонитрид  $\epsilon$ , однако она достаточно высока (больше 8000 МПа) для обеспечения стойкости к воздействию абразива. Толщина карбонитридных слоёв получаемых в результате нитроцементации наплавок при температурах 600...650°С, достаточно велика, что обеспечивает им наивысшую износостойкость.

Наконец, нитроцементация при повышенных температурах (700...750°С), когда в металл поступает в основном углерод, приводит к формированию диффузионных слоёв без карбонитридных корок на поверхности. Карбонитриды цементитного типа присутствуют в структуре нитроцементованных наплавок в виде отдельных включений и сетки по границам зёрен (рис. 3, в). Интегральная твёрдость (карбонитриды + твёрдорастворная матрица) таких структур ниже твёрдости карбонитридных корок, поэтому их износостойкость ниже.

Эксперименты показывают, что износостойкость нитроцементованных наплавок при испытании на трение в присутствии абразива, значительно снижается с увеличением времени испытания. Время, по истечении которого наступает снижение износостойкости, зависит от толщины карбонитридных зон на поверхности нитроцементованных наплавок. После того, как изнашивается верхний слой с твёрдыми карбонитридами, абразивные частицы начинают контактировать с зоной твёрдого раствора, твёрдость которого меньше твёрдости абразива, поэтому интенсивность изнашивания покрытия значительно увеличивается. Таким образом, для увеличения ресурса восстановленных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания (например, карданных валов с открытыми шлицевыми соединениями) необходимо увеличивать длительность их нитроцементации после восстановления наплавкой.

**Заключение.** Проведённые исследования показали, что нитроцементация деталей, восстановленных наплавкой, позволяет значительно повысить их износостойкость, как в условиях граничного

трения, так и в условиях трения в присутствии абразива. Использование нитроцементации в высокоактивной пасте на основе сажи с азотистыми добавками, которая может быть легко внедрена в ремонтное производство, позволит значительно увеличить послеремонтный ресурс восстановленных деталей и решить проблему дефицита запчастей и импортозамещения.

#### Список источников

1. О получении на поверхности нержавеющей стали 20Х13 модифицированных слоёв, насыщенных твёрдыми фазами, путём высокотемпературной нитроцементации в активной среде / Д.В. Колмыков, Ю.С. Воробьёв, В.И. Колмыков, Е.В. Трусова // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии. 2024. Т. 14, № 1. С. 30-45.
2. Наплавка штамповых инструментов с последующей нитроцементацией для их эффективной реставрации / Н.А. Костин, В.И. Колмыков, Е.В. Трусова, Н.Н. Костин // Руда и металлы. 2022. № 2. С. 56–61.
3. Металловедение. Т. 1. Основы металловедения / под ред. В.С. Золоторевского. М.: МИСиС, 2014. 496 с.
4. Металловедение. Т. 2. Термическая обработка. Сплавы / под ред. В.С. Золоторевского. М.: МИСиС, 2014. 528 с.
5. Steel and its heat treatment / ed. by T. Holm, P. Olsson, E. Troell. Molndal: Swerea IVF, 2012. 712 p.
6. Steel Heat Treatment Handbook / ed. by G.E. Totten, M.A.H. Howes. USA: CRC Press, 2006. P. 56-78.
7. Abdul Kareem F. Hassan, Qahtan Adnan Jawad. Estimation of austenitizing and multiple tempering temperatures from the mechanical properties of AISI 410 using artificial neural network [Electronic mode] // International Journal of Engineering & Technology. 2018. № 7 (4.19). P. 778-787. - Access mode: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.19.27997>.
8. Кукареко В.А., Кушнеров А.В. Влияние предварительной термической обработки на износостойкость стали 40Х13, модифицированной ионами азота [Электронный режим] // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. № 18 (2). С. 61-65. - Режим доступа: <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2022-18-2-61-65>.
9. Азотирование стали 40х13 в индуктивно-связанной плазме: влияние потенциала смещения образца [Электронный режим] / Д.В. Сиделев, Е.Д. Воронина, О.И. Кожина и др. // Прикладная физика. 2022. № 2. С. 16-23. - Режим доступа: <https://doi.org/10.51368/1996-0948-2022-2-16-23>.
10. Improvement in mechanical properties of 13Cr martensitic stainless steels using modified heat treatments / S. Kulkarni, P. Srinivas, P.K. Biswal et al. // Proceedings of the 28th ASM Heat Treating Society Conference. Detroit, 2015. P. 335-341.

#### Информация об авторах:

**А.А. Сафонов** - младший научный сотрудник кафедры электротехники и электроэнергетики, ФГБОУ ВО Курский ГАУ.

**Е.В. Трусова** - кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Курский государственный университет».

#### Information about the authors:

**A.A. Safonov** - Junior Researcher at the Department of Electrical Engineering and Electric Power Engineering, Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov.

**E.V. Trusova** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of General Technical Disciplines and Life Safety, Kursk State University

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 04.12.2024, одобрена после рецензирования 27.01.2025, принята к публикации 29.01.2025.**

**The article was submitted 04.12.2024, approved after reviewing 27.01.2025, accepted for publication 29.01.2025.**

© Сафонов А.А., Трусова Е.В.