



DOI: 10.22363/2312-8143-2026-27-1-93-108

EDN: HUSYOD

Научная статья / Research article


Снижение стоимости и повышение доступности резьбовых фиксаторов крепежных деталей без потери качества и надежности стопорения

К.Б. Дейнова^a, М.Ю. Малькова^a, М.В. Азанов^a,
А.Н. Задиранов^b, А.В. Азанов^a, Р.А. Сагадеев^c

^a Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

^b Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Российская Федерация

^c Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация

 kristina.deinova@yandex.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 11 августа 2025 г.

Доработана: 3 ноября 2025 г.

Принята к публикации: 11 ноября 2025 г.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Аннотация. Цель исследования — сравнительный анализ и выбор отечественных аналогов универсального однокомпонентного анаэробного резьбового фиксатора средней прочности Loctite 243 (производства Германии). За критерий оценки принято обеспечение сопоставимого качества и надежности фиксации при минимизации конечной стоимости продукта. Объектами исследования стали герметики-аналоги следующих марок: ROSLOCK 243, AXIOM AS311, ADHESOL 534, EFELE 113, Гель Сантех-Мастер Синий, Анакрол 2032, RusBond A2.43. В ходе исследования при заданных времени полимеризации и средней прочности определены такие основные характеристики аналогов, как моменты отвинчивания и срыва. По результатам сравнительного анализа экспериментальных данных с паспортными значениями фиксаторов подтверждено соответствие заявленного производителями функционала фактическим характеристикам. В результате исследования выбраны оптимальные аналоги — EFELE 113 и ROSLOCK 243, позволяющие при предварительно регламентированных условиях эксперимента снизить конечную стоимость продукта ориентировочно в 8,2 и 9,5 раза соответственно. Использование выбранных аналогов способствует повышению стабильности и эффективности логистических процессов, упрощению поставок и снижению связанных с ними рисков, включая санкционные.

Ключевые слова: резьбовые соединения, фиксатор (герметик) резьб, момент страгивания (срыва), момент срезания (среза), момент отвинчивания, предел прочности, аксиальный сдвиг, сопрягаемые детали

Вклад авторов

Дейнова К.Б. — общая структура статьи, анализ и научная обработка полученных данных, визуализация, написание текста; Малькова М.Ю. — концепция исследования, научное руководство, анализ и научная обработка полученных данных, редактирование рукописи, валидация, утверждение окончательной версии; Азанов М.В. — общая структура статьи, проведение исследования, анализ и научная обработка полученных данных; Задиранов А.Н. — разработка концепции исследования, анализ и научная обработка полученных данных, редактирование рукописи, валидация, утверждение окончательной версии; Азанов А.В. — проведение исследования, анализ и научная обработка полученных данных; Сагадеев Р.А. — проведение исследования. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Дейнова К.Б., Малькова М.Ю., Азанов М.В., Задиранов А.Н., Азанов А.В., Сагадеев Р.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования

Дейнова К.Б., Малькова М.Ю., Азанов М.В., Задиранов А.Н., Азанов А.В., Сагадеев Р.А. Снижение стоимости и повышение доступности резьбовых фиксаторов крепежных деталей без потери качества и надежности стопорения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2026. Т. 27. № 1. С. 93–108. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2026-27-1-93-108> EDN: HUSYOD

Reducing the Cost and Improving the Availability of Thread-Locking Compounds Without Compromising Quality and Locking Reliability

Kristina B. Deynova^a✉, Marianne Yu. Malkova^a, Matvey V. Azanov^a,
Alexander N. Zadiranov^b, Alexey V. Azanov^a, Rustam A. Sagadeev^c

^a RUDN University, Moscow, Russian Federation

^b State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

^c South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russian Federation

✉ kristina.deinova@yandex.ru

Article history

Received: August 11, 2025.

Revised: November 2, 2025

Accepted: November 11, 2025

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Abstract. The aim of this study is to conduct a comparative analysis and select domestic alternatives to the universal one-component, medium-strength anaerobic thread locker Loctite 243 (Germany). The evaluation criterion was to ensure comparable quality and reliability of locking performance while minimizing the final product cost. The objects of the study were the following alternative sealants: ROSLOCK 243, AXIOM AS311, ADHESOL 534, EFELE 113, SantekhMaster Blue Gel, Anakrol 2032, and RusBond A2.43. Under specified curing time and medium-strength conditions, key performance characteristics of the alternatives were determined, including breakaway torque and unscrewing torque. A comparative analysis of the experimental results against the manufacturers' technical specifications confirmed that the declared performance characteristics correspond to the actual functional properties. Based on the study results, EFELE 113 and ROSLOCK 243 were identified as the optimal alternatives. Under standardized experimental conditions, their use enables a reduction in the final product cost by approximately 8.2 and 9.5 times, respectively. The adoption of these alternatives enhances the stability and efficiency of logistics processes, simplifies supply chains, and reduces associated risks, including those related to sanctions.

Keywords: threaded connections, thread locker (sealant, fixator), breakaway torque, shearing torque, unscrewing torque, ultimate strength, axial shear, mating parts

Authors' contribution

Deynova K.B. — development of the overall manuscript structure, data analysis and interpretation, visualization, and manuscript preparation; *Malkova M.Yu.* — research conceptualization, scientific supervision, data analysis and interpretation, manuscript editing, validation, and approval of the final version; *Azanov M.V.* — development of the general structure of the article, conducting research, analysis and scientific processing of the obtained data; *Zadiranov A.N.* — development of the research concept, analysis and scientific processing of the obtained data, editing of the manuscript, validation, approval of the final version; *Azanov A.V.* — conducting research, analysis and scientific processing of the obtained data; *Sagadeev R.A.* — conducting research. All authors read and approved the final version of the article.

For citation

Deynova KB, Malkova MYu, Azanov MV, Zadiranov AN, Azanov AV, Sagadeev RA. Reducing the cost and improving the availability of thread-locking compounds without compromising quality and locking reliability. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2026;27(1):93–108. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2026-27-1-93-108> EDN: HUSYOD

Введение

В современном машиностроении резьбовое соединение является одним из основных методов создания надежных многоразовых разъемных узлов, объединяющих два или более изделий. Простота реализации этого метода заключается в использовании наружной резьбы на одной детали и внутренней на другой.

Наиболее распространенными вариантами резьбовых соединений¹ (рис. 1) являются пары: «деталь — деталь»; «деталь — резьбовая крепежная деталь (болт, винт, гайка, шпилька и т.д.)»; «резьбовая крепежная деталь — резьбовая крепежная деталь» [1].

Основной проблемой резьбовых соединений является снижение их надежности вследствие самооткручивания под воздействием нагрузок [2–4], таких как ударные, возникающие при неправильной эксплуатации изделий, а также вибраций. Кроме того, снижение усилия затяжки соединений может происходить из-за проскальзывания и проседания, что приводит к ослаблению узла или детали. Стопорные резьбовые соединения² [5; 6], направленное на предотвращение их самоотвинчивания под воздействием внешних факторов, включает механические способы и использование специальных составов.

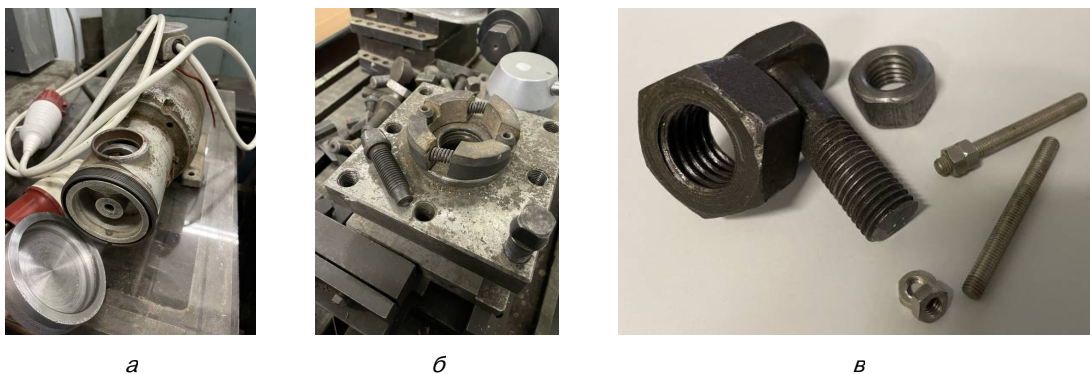


Рис. 1. Резьбовые соединения:
а — «деталь — деталь» (дробилка); *б* — «деталь — резьбовая крепежная деталь» (резцедержатель);
в — «резьбовая крепежная деталь — резьбовая крепежная деталь»

Источники: выполнено К.Б. Дейновой

Figure 1. Threaded connections:
a — “part — part” (crusher); *b* — “part — threaded fastener” (tool holder);
v — “threaded fastener — threaded fastener”

Source: by K.B. Deynova.

Механические способы стопорения:

1. Стопорная пружинная шайба (гровер): при закручивании гайки под нее устанавливается виток пружины, создающий пружинящий эффект и препятствующий самоотвинчиванию.

Этот метод эффективен для предотвращения самоотвинчивания только одного из элементов зацепления (болта или гайки).

2. Гайка с зубчатым фланцем: конструкция гайки с зубчатым фланцем обеспечивает увели-

¹ Яковлев А.Б., Пономаренко Е.А., Ермолаев А.В. Резьбовые соединения : учебное пособие. СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2015. 53 с.; Амирджанова И.Ю., Живоглядова И.А. Резьбовые соединения : учебно-методическое пособие. Тольятти : ТГУ, 2013. 79 с.

² Стопорение резьбовых соединений. URL: <https://www.rus-bolt.ru/articles/300/11441/> (дата обращения: 01.06.2025); ГОСТ Р 70116-2022. Соединения резьбовые. Типы стопорения : национальный стандарт РФ : дата введения 2023-01-01 / Росстандарт. Изд. официальное. Москва : РИС, 2022. 20 с.; Глазунов К.О., Степанов А.С., Тихонов-Бугров Д.Е., Шварцов В.В. Изображение стопорения резьбовых соединений : учебное пособие. СПб. : БГТУ «Военмех», 2012. 28 с.

чение площади контакта и создание пружинящего эффекта, что способствует удержанию резьбового соединения от самоотвинчивания.

3. *Самоконтрящаяся гайка с нейлоновым кольцом*: нейлоновое кольцо, встроенное в конструкцию гайки, тормозит ход завинчивания и снижает механические колебания, обеспечивая надежную фиксацию резьбового соединения.

4. *Стопорение проволокой*: стальная проволока, установленная в отверстие в винте или гайке, жестко фиксируется к другой детали, что предотвращает взаимное перемещение резьбовых элементов.

5. *Корончатая гайка со шплинтом*: металлический шплинт, продеваемый через резьбу и фиксируемый между зубьями корончатой гайки, блокирует возможность самоотвинчивания. Этот метод эффективен для предотвращения самоотвинчивания только одного из элементов зацепления (болта или гайки).

6. *Фрикционные приспособления* повышают упругость соединения и силу трения, но не обеспечивают постоянной фиксации при динамических нагрузках.

7. *Фиксирующие приспособления* включают болты, гайки, шайбы с рифлеными и зубчатыми поверхностями, которые предотвращают самоотвинчивание, но имеют высокую стоимость, занимают значительную площадь на поверхности детали и могут повреждать ее.

Использование специальных составов:

1) анаэробные герметики [7–10] наносятся на резьбовую поверхность крепежных деталей, в процессе сборки заполняют зазоры и затвердевают при отсутствии доступа кислорода, создавая надежное соединение, предотвращающее возможность откручивания винта без приложения значительного усилия;

2) резьбовые фиксаторы обеспечивают сцепление шероховатостей граничных резьбовых плоскостей, предотвращая любые перемещения под воздействием вибрационных нагрузок [11].

Второй из рассмотренных способов получил более широкое распространение благодаря своей простоте и доступности. Это связано с его высокой эффективностью и комплексным характером преимуществ.

Одним из ведущих мировых производителей инновационных клеевых составов и герметиков является фирма Loctite (Henkel, Германия). Компания предлагает эффективные решения для фиксации деталей из различных металлических сплавов, включая сталь, алюминий, латунь и др. Продукция компании представлена однокомпонентными жидкими и полутвердыми составами с низкой вязкостью, которые полимеризуются в безвоздушной среде при комнатной температуре с образованием твердой терморезактивной пластмассы, заполняющей зазоры между резьбовыми частями соединений. Преимуществом продукции Loctite является простота и удобство нанесения, что обеспечивает высокую адгезию и надежность соединений. Однако, поскольку Loctite является зарубежным брендом, стоимость продукции может значительно отличаться от отечественных аналогов. В некоторых случаях разница в цене может достигать 5–15 раз из-за параллельного импорта через «третьи» страны.

Ассортимент продукции Loctite классифицируется в зависимости от требуемой прочности и вязкости на несколько категорий, каждая из которых предназначена для определенного способа демонтажа:

1) низкая прочность — демонтаж осуществляется ручным инструментом;

2) средняя прочность — демонтаж требует значительного усилия и использования ручного инструмента;

3) высокая прочность — демонтаж возможен только с использованием ручного инструмента и местного нагрева, применяется для неразборных соединений;

4) капиллярные — аналогичные предыдущему типу, но нанесение осуществляется после соединения узла;

5) нежидкие (полутвердые) фиксаторы средней и высокой прочности — представлены в виде клеящих карандашей.

Основным преимуществом резьбовых фиксаторов Loctite является их способность предотвращать самоотвинчивание резьбовых соединений всех типов. Это достигается за счет пре-

дотвращения фреттинг-коррозии⁴ — процесса, при котором циклическое нагружение в зоне контакта сопряженных деталей приводит к потере эксплуатационных характеристик металла и его усталостному разрушению [12; 13].

Кроме того, резьбовые фиксаторы Loctite заполняют зазоры между поверхностями резьб, обеспечивая адгезию сопрягаемых изделий. Это позволяет уплотнить резьбовые соединения и создать сквозные резьбовые отверстия.

Одним из популярных продуктов Loctite является Loctite 243 — универсальный однокомпонентный анаэробный резьбовой фиксатор средней прочности. Продукт характеризуется широким спектром совместимости с металлическими поверхностями, включая пассивные материалы, такие как нержавеющая сталь, алюминий и оцинкованные поверхности. Loctite 243 устойчив к присутствию загрязнителей на

поверхности, таких как смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), моторные масла и консервационные смазки.

Фиксатор предотвращает ослабление резьбовых соединений в условиях вибрации [14], что делает его незаменимым для использования в таких устройствах, как насосы, двигатели, редукторы, прессы, компрессоры, а также для монтажных болтов и коробок передач. Благодаря своим свойствам Loctite 243 допускает возможность периодической разборки резьбовых соединений с помощью ручного инструмента. Характеристики Loctite 243⁵ представлены в табл. 1.

Прочность резьбового соединения [15–17] оценивается такими параметрами, как момент срезания резьбы и момент отвинчивания ($M_{отв}$). Момент срезания характеризует прочность резьбы на срез.

Таблица 1. Технические характеристики фиксатора Loctite 243

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Предварительная сборка узла	Нет	Агрегатное состояние	Жидкость
Проникающая способность, прочность	Средняя	Химическая основа	Метакрилат
Максимальный диаметр резьбы	M36	Вязкость, МПа*с	1300–3000
Время полимеризации (t_p), ч	2	Рабочая температура, °C	от –55 до +180
Объем упаковки, мл	10, 50, 250	Ручная прочность, мин: <ul style="list-style-type: none"> ■ сталь ■ латунь ■ нержавеющая сталь 	10 5 10
Тиксотропность	Есть		
Момент отворачивания, болт M10, Н*м	26		

Источники: выполнено А.В. Азановым.

Table 1. Technical characteristics of the Loctite 243 retainer

Parameter	Value	Parameter	Value
Pre-assembly of the unit	No	Aggregate state	Liquid
Penetration ability, strength	Average	Chemical basis	Methacrylate
Maximum thread diameter	M36	Viscosity, mPa*s	1300–3000
Hardening time, h	2	Operating temperature, °C	from –55 to +180
Packaging volume, ml	10, 50, 250	Hand strength, min: <ul style="list-style-type: none"> ■ steel ■ brass ■ stainless steel 	10 5 10
Thixotropy	yes		
Loosening torque, bolt M10, N*m	26		

Source: by A.V. Azanov

⁴ Иваночкин П.Г., Колесников И.В., Челохьян А.В. Изнашивание неподвижных соединений (фреттинг-коррозия) : учебное пособие. Ростов н/Д : РГУПС, 2001. 28 с.

⁵ Фиксация резьбовых соединений. URL: <https://vita.ru/wp-content/uploads/2019/07/loctite-1.pdf?ysclid=masajd2b2r905575563> (дата обращения: 01.06.2025); Loctite-henkel. URL: <https://www.loctite-henkel.ru/> (дата обращения: 01.06.2025); Loctite 243. URL: https://interoil-spb.ru/wp-content/uploads/2020/12/loctite_243.pdf (дата обращения: 01.06.2025).

При превышении внутренних напряжений предела прочности (σ_b) на разрыв, когда крутящий момент (\vec{M}) превышает силу трения ($F_{тр}$) и расчетную прочность изделия, происходит срыв резьбы и разделение стержня. Момент срезания представляет собой критическую величину, при достижении которой резьбовое соединение разрушается под действием внешней силы, вызывающей сдвиг соединяемых деталей перпендикулярно оси болта. Это приводит к деформации и нарушению целостности резьбовых изделий.

Проверка $M_{отв}$ учитывает специфику работы винтовой пары, где при отвинчивании окружная сила и $F_{тр}$ меняют направление на противоположное. В отличие от момента затяжки $M_{отв}$ требует значительно большего крутящего момента (примерно в 1,5 раза), что обусловлено процессами коррозии и диффузии материалов в зоне резьбового соединения.

Момент отвинчивания $M_{отв}$ возникает при достижении предела прочности на сдвиг (σ_s) при аксиальном нагружении, или момента срыва ($M_{ср}$) [14]. $M_{ср}$ представляет собой минимальный момент, необходимый для преодоления силы фиксации резьбы и начала процесса откручивания⁶. Этот момент также называют начальным моментом страгивания. Момент отвинчивания ($M_{отв}$) — это момент преодоления силы трения ($F_{тр}$), позволяющий открутить резьбовое соединение без его повреждения. Однако из-за эффекта статического трения момент страгивания ($M_{ср}$) превышает момент вращения, необходимый для начала движения резьбового соединения.

Применение фиксатора резьбы позволяет повысить следующие параметры:

1. σ_b при аксиальном сдвиге и, как следствие, $M_{ср}$. Герметизирующие составы усложняют осевое смещение резьбы, что приводит к увеличению данных показателей;

2. $M_{отв}$ — это связано с тем, что достижение σ_b при аксиальном сдвиге является начальным этапом увеличения $M_{отв}$.

3. Момент срезания. Фиксатор резьбы обеспечивает стабильность резьбового соединения как при срезании, так и при отвинчивании, независимо от направления вращения. Это особенно важно для соединений, подверженных разнонаправленным нагрузкам, например в резьбовых соединениях вала электродвигателя заточного станка и крепежного элемента (болта или гайки), которые прижимают абразивный круг к валу. При использовании герметика Loctite 243 формируется неразъемное резьбовое соединение. В случае превышения допустимого усилия вращения, независимо от его направления, происходит срыв резьбы, что может привести к повреждению сопрягаемых деталей.

В рамках данного исследования проведен подбор аналогов резьбового фиксатора Loctite 243. В табл. 1 представлены характеристики различных герметиков. При выборе объектов исследования руководствовались практической направленностью работы. При этом основная задача заключалась в подборе такого аналога, который по характеристикам будет максимально приближен к Loctite 243, а также позволит значительно снизить стоимость продукта.

Актуальность исследования объяснима низкой доступностью и высокой стоимостью товара на отечественном рынке. Проведенное исследование направлено на поиск альтернативных решений для обеспечения потребностей рынка в резьбовых фиксаторах, которые бы соответствовали высоким стандартам качества, но при этом имели более доступную цену.

Цель исследования — экспериментальная проверка и сравнительный анализ характеристик анаэробных фиксаторов резьбовых соединений средней прочности с определением оптимального отечественного аналога герметика Loctite 243, обеспечивающего сопоставимое качество и надежность фиксации при снижении конечной стоимости.

2. Материалы и методы

Экспериментальные исследования были направлены на проверку стандартных характеристик фиксаторов резьбовых соединений, ука-

⁶ Метод приложения крутящего момента. URL: <https://smetiz.ru/tekhnicheskaya-informaciya/rezbovye-soedineniya/metod-prilozheniya-krutyashchego-momenta/> (дата обращения: 01.06.2025).

занных в технической документации, таких как предел прочности σ_b при аксиальном сдвиге ($M_{ср}$) и $M_{отв}$.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1) составление перечня потенциальных аналогов Loctite 243, соответствующих заданным критериям;

2) закупка образцов для проведения испытаний;

3) разработка плана сравнения фиксатора Loctite 243 с выбранными аналогами, включая подбор критериев и характеристик;

4) проведение экспериментальных исследований;

5) анализ результатов и определение наиболее подходящих заменителей Loctite 243 с учетом установленных критериев.

Критерии отбора потенциальных аналогов включают:

- производство на территории Российской Федерации;

- наличие удовлетворительной логистической доступности (стабильность (нет риска применения санкций и наличие товара), снижение сроков поставок (повышение уровня логис-

тики), возможность приобретения через отечественных дилеров);

- сходство основных характеристик, таких как средняя прочность, t_p , $M_{ср}$ и $M_{отв}$;

- снижение стоимости по сравнению с Loctite 243 не менее, чем в два раза.

В табл. 2 представлен перечень аналогов Loctite 243, отобранных в соответствии с указанными критериями.

Используемое оборудование и средства измерения (СИ) (рис. 2):

1) динамометрический ключ электронный 3/8", 6–30 Н×м, тип NTE12-030RR с поверкой, NORGAU 051130032/П; диапазон измерения — 1,5–30 Н×м, дискретность — 0,01 Н×м, минимальное усилие — 6 Н×м и максимальное усилие — 30 Н×м;

2) динамометрический ключ электронный 3/8", 12–60 Н×м, тип NTE12-060RR, NORGAU 051130061; диапазон измерения — 3–60 Нм, дискретность — 0,01 Н×м, минимальное усилие — 12 Н×м и максимальное усилие — 60 Н×м;

3. Климатическая камера холод — тепло — влага КХТВ-250; температурный диапазон от –75 до +150 °С, диапазон относительной влажности от 20 до 98 % при температуре от +20 до +90 °С, дискретность — 0,1 °С.

Таблица 2. Перечень подобранных аналогов Loctite 243 и их стоимость

№	Аналог	Стоимость, руб.	№	Аналог	Стоимость, руб.
1	ROSLOCK 243	1100 / 1500	5	Гель СантехМастер Синий*	260 / 833
2	AXIOM AS311	1400 / 1260			
3	ADHESOL 534	2190 / 2214	6	Анакрол 2032	852 / 1457
4	EFELE 113	1678 / 1737	7	RusBond A2.43	1650 / 1138

*1 Закуплен вне плана (60 мл), так как применяется в основном в сантехнических соединениях (более универсальное решение: позволяет достичь герметичности).
Стоимость (50 мл) актуальна на май 2024 г. / май 2025 г. (OZON маркетплейс. URL: <https://www.ozon.ru/> (дата обращения: 01.06.2025)).
Стоимость Loctite 243 — 14300 руб. (2024 г.) / 3541 руб. (2025 г.).

И с т о ч н и к: выполнено А.В. Азановым

Table 2. List of selected alternatives to Loctite243 and their cost

No.	Alternative	Cost, rub.	№	Alternative	Cost, rub.
1	ROSLOCK 243	1100 / 1500	5	Gel SantekhMaster Blue*	260 / 833
2	AXIOM AS311	1400 / 1260			
3	ADHESOL 534	2190 / 2214	6	Anacrol 2032	852 / 1457
4	EFELE 113	1678 / 1737	7	RusBond A2.43	1650 / 1138

*1 Purchased outside the plan (60 ml), as it is mainly used in plumbing connections (a more universal solution: allows achieving tightness).
The cost (50 ml) is valid for May 2024 / May 2025. (OZON marketplace. Available from: <https://www.ozon.ru/> (accessed: 01.06.2025)).
The cost of Loctite 243 is 14.300 rubles (2024) / 3.541 rubles (2025).

S o u r c e: by A.V. Azanov.



Рис. 2. Используемое оборудование и СИ*:

a — динамометрический ключ электронный 3/8", 6-30 Н*м; *б* — камера холод-тепло-влаги КХТВ-250; *в* — климатограмма
Источники: выполнено К.Б. Дейновой

Figure 2. Equipment and MI used*:

a — Electronic torque wrench 3/8", 6-30 N*m; *б* — Cold-heat-humidity chamber KHTV-250; *в* — climatology
Source: by K.B. Deynova.

* Электронный динамометрический ключ NORGAU NTE12-030RR 3/8" 6–30 Нм. URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/product/elektronnyj-dinamometricheskij-klyuch-norgau-3-8-6-30-nm-s-poverkoj-051130032-p-1098306/> (дата обращения: 01.06.2025);
Электронный динамометрический ключ NORGAU NTE12-060RR 3/8" 12–60 Нм. URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/product/elektronnyj-dinamometricheskij-klyuch-norgau-3-8-12-60-nm-051130061-984218/> (дата обращения: 01.06.2025);
Камера холод-тепло-влаги КХТВ-250. URL: <https://n-volga.ru/catalog/kamery-kholod-teplo-vlaga/khtv-250/> (дата обращения: 01.06.2025).

3. Климатическая камера холод — тепло — влага КХТВ-250; температурный диапазон от –75 до +150 °С, диапазон относительной влажности от 20 до 98 % при температуре от +20 до +90 °С, дискретность — 0,1 °С.

В соответствии с международным стандартом ISO 10964, при испытании фиксатора Loctite 243 наносят на резьбовые изделия Болт-гайка М10х15-6g/6H из стали марки 30 ГОСТ 1050. Испытания проводятся при температуре окружающей среды в диапазоне от 18 до 25 °С.

Для исследования выбрано изделие с цинковым покрытием, что способствует повышению коррозионной стойкости. Для получения достоверных результатов и минимизации погрешности измерений испытания проводились на трех образцах, к которым предъявлялись следующие требования:

- 1) тип резьбы: М10 с зазором до 0,3 мм (гайка — 7H, болт — 6g);
- 2) покрытие: цинковое.

В паспорте на резьбовое соединение указано M_{cp} без предварительного натяга, равное 26 Н×м. Однако в результате эксперимента значения крутящего момента оказались в два раза

меньше в связи с использованием цинкового покрытия.

Первый этап эксперимента включал нанесение фиксатора на резьбовые соединения. Для аппроксимации значений использовали 9 пар «винт-гайка» для каждого образца герметика. После нанесения фиксатора образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 24 ч для достижения полной полимеризации герметика [18–20]. Соединение резьбовой пары осуществлялось вручную без использования инструмента и без натяга.

На втором этапе эксперимента проводили измерение M_{cp} и $M_{отв}$ с использованием электронного динамометрического ключа 3/8" с диапазоном измерений 6–30 Н×м при различных температурных условиях. В связи со значительным разбросом значений измерений при превышении диапазона гарантированной точности динамометрического ключа его заменяли на модель с диапазоном 12–60 Н×м. Температурные условия испытаний составляли –30 °С, 23 ± 2 °С, 150 °С. Выбор данных условий был обусловлен необходимостью оценки надежности резьбового соединения при нормальных и

граничных климатических условиях. Для создания заданных температурных режимов образцы помещали в климатическую камеру КХТВ-250, предназначенную для моделирования условий холод — тепло — влага. Основной задачей эксперимента было определение способности резьбового соединения, обработанного фиксатором, сохранять свои функциональные характеристики и надежность при различных климатических условиях. Схема эксперимента представлена на рис. 3.

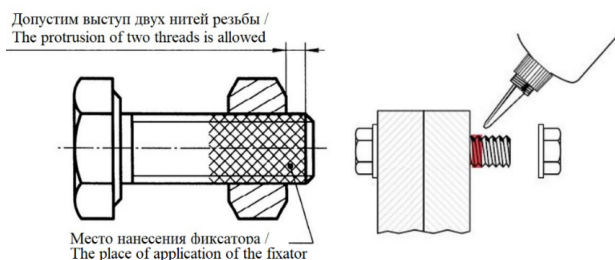


Рис. 3. Схема эксперимента*
Источники: выполнено К.Б. Дейновой.

Figure 3. Experimental scheme*
Source: by K.B. Deynova.

* ISO-10964-1993. Adhesives — Determination of torque strength of anaerobic adhesives on threaded fasteners.
URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/18936/878f6a506e7841c18cea43c7f5a99cac/ISO-10964-1993.pdf>
(дата обращения: 01.06.2025); Нанесение резьбовых фиксаторов Loctite.
URL: https://loctite.gluesale.ru/support/infliction/infliction_threadlocking/ (дата обращения: 01.06.2025).

3. Результаты и обсуждение

Для исследования специфики потери свойств фиксатором Loctite 243 и оценки корректности экспериментальных условий были созданы аномальные условия (табл. 3, 4).

В качестве объекта исследования использовался образец с истекшим сроком годности (до 2023 г.), а t_p составило 24 ч вместо требуемых 7 дней (по паспорту). В результате $M_{ср}$ оказалась примерно в два раза ниже паспортного значения.

Учитывая стабильность t_p и условий эксперимента, проведено сравнение средних данных с паспортными характеристиками (табл. 4, рис. 3, 4).

При математической обработке экспериментальных данных были выбраны аналоги, наиболее близкие к оригиналу (рис. 4). Сравнение с паспортными данными (рис. 5) показало, что фактическая прочность фиксаторов находится в пределах средней прочности. Отмечаем, что на момент проведения исследования для образцов № 7 и № 8 затруднен процесс логистики (задержка поставки), что не отвечает выдвинутым требованиям задачи. Среди аналогов были выбраны EFELE 113 (№ 5) и ROSLOCK 243 (№ 2).

Таблица 3. Результаты экспериментов (тест на откручивание при заданной температуре)

№	Температура, °С	-30		+22		+150	
	Фиксатор / Результаты, Н×м	$M_{ср}$	$M_{отв}$	$M_{ср}$	$M_{отв}$	$M_{ср}$	$M_{отв}$
1	LOCTITE 243	6,40	4,95	10,10	3,75	6,47	2,45
		5,45	3,80	10,80	3,75	6,25	3,29
		8,70	4,60	12,90	4,20	8,54	2,49
	Среднее значение, Н×м	6,85	4,45	11,27	3,90	7,09	2,74
2	ROSLOCK 243	16,10	6,00	16,40	4,95	3,68	2,40
		9,20	3,65	19,00	6,05	3,70	2,64
		17,00	4,45	16,60	3,95	4,53	2,30
	Среднее значение, Н×м	14,10	4,70	17,33	4,98	3,97	2,44
3	AXIOM AS311	21,20	18,50	29,10	21,50	9,05	7,91
		30,00	19,50	30,60	27,50	8,17	6,75
		30,00	23,50	30,00	23,50	9,53	10,50
	Среднее значение, Н×м	27,07	20,50	29,90	24,17	8,92	8,39
4	ADHESOL 534	30,00	20,50	36,00	33,00	13,20	3,45
		30,00	29,50	40,00	31,00	14,60	6,85
		30,00	29,50	44,00	40,00	12,90	3,30
	Среднее значение, Н×м	30,00	26,50	40,00	34,67	13,57	4,53
5	EFELE 113	9,42	3,95	18,60	6,00	4,10	2,01
		18,00	5,80	18,30	6,60	4,75	2,20
		16,70	4,65	17,10	4,75	4,48	2,50
	Среднее значение, Н×м	14,71	4,80	18,00	5,78	4,44	2,24

№	Температура, °C	-30		+22		+150	
	Фиксатор / Результаты, Н×м	M_{cp}	$M_{отв}$	M_{cp}	$M_{отв}$	M_{cp}	$M_{отв}$
6	Гель СантехМастер Синий	17,80	10,60	10,80	5,40	4,90	4,33
		12,70	5,80	11,80	5,15	6,10	5,34
		13,52	7,60	10,60	4,60	5,10	4,10
	Среднее значение, Н×м	14,67	8,00	11,07	5,05	5,37	4,59
7	Анакрол 2032	21,30	6,85	15,50	3,90	3,40	2,45
		15,40	4,60	13,90	3,60	3,50	2,53
		13,00	6,15	13,60	3,50	3,40	2,35
	Среднее значение, Н×м	16,57	5,87	14,33	3,67	3,43	2,44
8	RusBond A2.43	30,00	29,50	34,00	27,00	16,10	9,25
		30,00	29,50	35,00	26,50	13,40	12,50
		30,00	29,50	33,00	27,00	9,10	6,85
	Среднее значение, Н×м	30,00	29,50	34,00	26,83	12,87	9,53

Примечание: M_{cp} — момент срагивания, срыва, Н*м; $M_{отв}$ — момент отвинчивания, вращения, Н*м

Источник: выполнено К.Б. Дейновой, А.В. Азановым.

Table 3. Experimental results (untwist test at a given temperature)

No.	Temperature, °C	-30		+22		+150	
	Fixative / Results, N×m	M_{br}	M_{uns}	M_{br}	M_{uns}	M_{br}	M_{uns}
1	LOCTITE 243	6.40	4.95	10.10	3.75	6.47	2.45
		5.45	3.80	10.80	3.75	6.25	3.29
		8.70	4.60	12.90	4.20	8.54	2.49
	Average value, N×m	6.85	4.45	11.27	3.90	7.09	2.74
2	ROSLOCK 243	16.10	6.00	16,40	4.95	3.68	2.40
		9.20	3.65	19,00	6.05	3.70	2.64
		17.00	4.45	16,60	3.95	4.53	2.30
	Average value, N×m	14.10	4.70	17,33	4.98	3.97	2.44
3	AXIOM AS311	21.20	18.50	29,10	21.50	9.05	7.91
		30.00	19.50	30,60	27.50	8.17	6.75
		30.00	23.50	30,00	23.50	9.53	10.50
	Average value, N×m	27.07	20.50	29,90	24.17	8.92	8.39
4	ADHESOL 534	30.00	20.50	36,00	33.00	13.20	3.45
		30.00	29.50	40,00	31.00	14.60	6.85
		30.00	29.50	44,00	40.00	12.90	3.30
	Average value, N×m	30.00	26.50	40,00	34.67	13.57	4.53
5	EFELE 113	9.42	3.95	18,60	6.00	4.10	2.01
		18.00	5.80	18,30	6.60	4.75	2.20
		16.70	4.65	17,10	4.75	4.48	2.50
	Average value, N×m	14.71	4.80	18,00	5.78	4.44	2.24
6	Gel SantekhMaster Blue	17.80	10.60	10,80	5.40	4.90	4.33
		12.70	5.80	11,80	5.15	6.10	5.34
		13.52	7.60	10,60	4.60	5.10	4.10
	Average value, N×m	14.67	8.00	11,07	5.05	5.37	4.59
7	Anacrol 2032	21.30	6.85	15,50	3.90	3.40	2.45
		15.40	4.60	13,90	3.60	3.50	2.53
		13.00	6.15	13,60	3.50	3.40	2.35
	Average value, N×m	16.57	5.87	14,33	3.67	3.43	2.44
8	RusBond A2.43	30.00	29.50	34,00	27.00	16.10	9.25
		30.00	29.50	35,00	26.50	13.40	12.50
		30.00	29.50	33,00	27.00	9.10	6.85
	Average value, N×m	30.00	29.50	34,00	26.83	12.87	9.53

Notes: M_{br} — breakaway torque, N*m; M_{uns} — unscrewing torque, rotation, N*m

Source: by K.B. Deynova, A.V. Azanov.

Таблица 4. Сравнение средних экспериментальных данных с паспортными значениями

№	Фиксатор / Температура, °С	–30	22	150	23*	$M_{cp} \leq M_{cp}^*$
Момент срыва $M_{cp}, Н \times м$						
1	LOCTITE 243	6,85	11,27	7,09	26	+
2	ROSLOCK 243	14,10	17,33	3,97	15–25	+
3	AXIOM AS311	27,07	29,90	8,92	25 макс	–
4	ADHESOL 534	30,00	40,00	13,57	15	–
5	EFELE 113	14,71	18,00	4,44	8–25	+
6	Гель СантехМастер Синий	14,67	11,07	5,37	Отсутствует	±
7	Анакрол 2032	16,57	14,33	3,43	8–25	+
8	RusBond A2.43	30,00	34,00	12,87	15–25	–
Момент отвинчивания $M_{отв}, Н \times м$						
1	LOCTITE 243	4,45	3,90	2,74	5	+
2	ROSLOCK 243	4,70	4,98	2,44	5–10	±
3	AXIOM AS311	20,50	24,17	8,39	Отсутствует	±
4	ADHESOL 534	26,50	34,67	4,53	6	–
5	EFELE 113	4,80	5,78	2,24	4–10	+
6	Гель СантехМастер Синий	8,00	5,05	4,59	Отсутствует	±
7	Анакрол 2032	5,87	3,67	2,44	4–10	±
8	RusBond A2.43	29,50	26,83	9,53	6–14	–

Примечание: (*) паспортные данные; $M_{cp} \leq M_{cp}^*$ — сравнение полученных при нормальной температуре значений с паспортными данными; (±) — из-за отсутствия паспортного значения однозначно оценить приемлемость полученного результата невозможно или полученное экспериментальное значение незначительно отличается от паспортных данных.

Источники: выполнено К.Б. Дейновой, М.В. Азановым.

Table 4. Comparison of average experimental data with rated values

No.	Fixative / Temperature, °C	–30	22	150	23*	$M_{br} \leq M_{uns}^*$
Breakaway torque $M_{br}, N \times m$						
1	LOCTITE 243	6.85	11.27	7.09	26	+
2	ROSLOCK 243	14.10	17.33	3.97	15–25	+
3	AXIOM AS311	27.07	29.90	8.92	25 max	–
4	ADHESOL 534	30.00	40.00	13.57	15	–
5	EFELE 113	14.71	18.00	4.44	8–25	+
6	Gel SantekhMaster Blue	14.67	11.07	5.37	Absent	±
7	Anacrol 2032	16.57	14.33	3.43	8–25	+
8	RusBond A2.43	30.00	34.00	12.87	15–25	–
Unscrewing torque $M_{uns}, N \times m$						
1	LOCTITE 243	4.45	3.90	2.74	5	+
2	ROSLOCK 243	4.70	4.98	2.44	5-10	±
3	AXIOM AS311	20.50	24.17	8.39	Absent	±
4	ADHESOL 534	26.50	34.67	4.53	6	–
5	EFELE 113	4.80	5.78	2.24	4–10	+
6	Gel SantekhMaster Blue	8.00	5.05	4.59	Absent	±
7	Anacrol 2032	5.87	3.67	2.44	4–10	±
8	RusBond A2.43	29.50	26.83	9.53	6–14	–

Notes: (*) — manufacturer details; $M_{br} \leq M_{uns}^*$ — comparison of values obtained at normal temperature with rated data; (±) — due to the absence of a rated value, it is impossible to unambiguously assess the acceptability of the obtained result, or the obtained experimental value differs slightly from the rated data.

Source: by K.B. Deynova, M.V. Azanov.

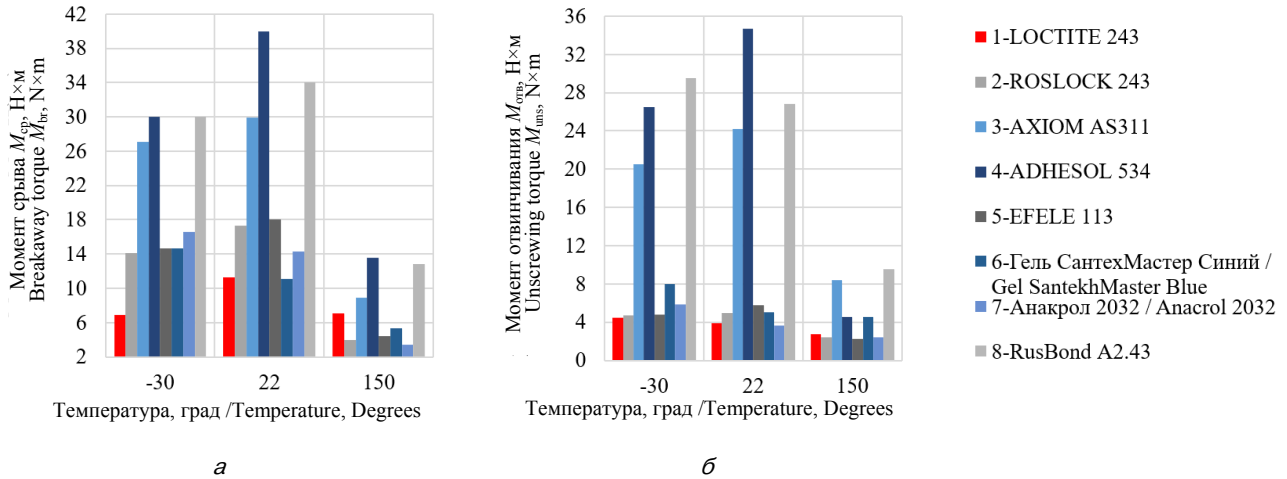


Рис. 4. Экспериментальная зависимость характеристик фиксаторов от температуры:
a — момент срыва $M_{ср}$, Н×м; *б* — момент отвинчивания $M_{отв}$, Н×м
 Источник: выполнено К.Б. Дейновой, М.В. Азановым

Figure 4. Experimental dependence of the characteristics of fixatives on temperature:
a — breakaway torque M_{br} , N×m; *б* — unscrewing moment M_{uns} , N×m
 Source: by K.B. Deynova, M.V. Azanov.

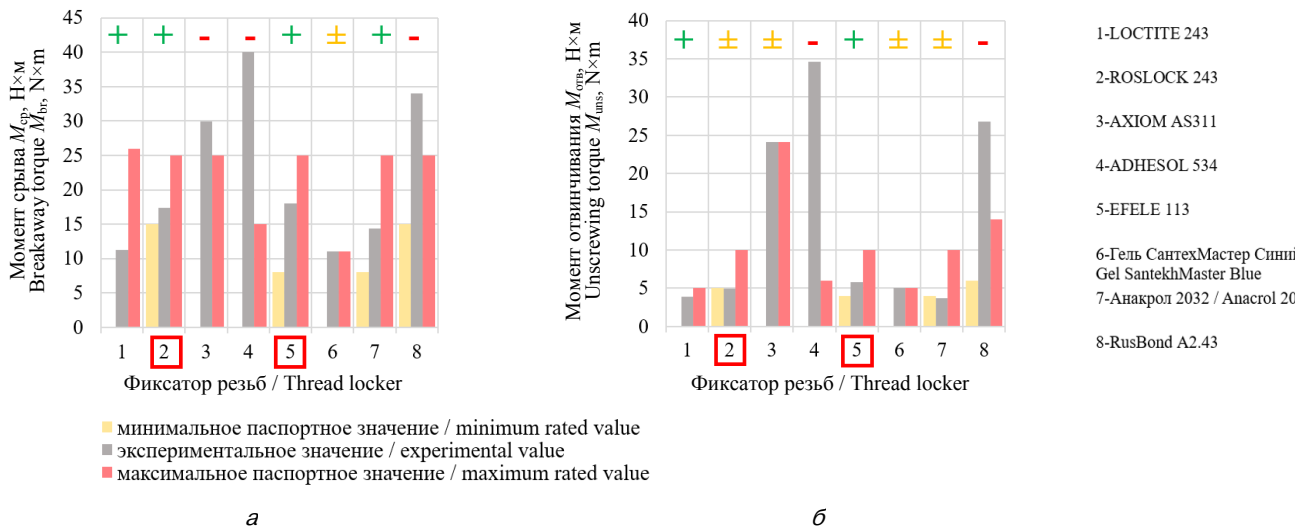


Рис. 5. Сравнение экспериментальных данных с паспортными значениями при нормальной температуре:
a — момент срыва $M_{ср}$, Н×м; *б* — момент отвинчивания $M_{отв}$, Н×м
 Источник: выполнено К.Б. Дейновой, М.В. Азановым

Figure 5. Comparison of experimental data with rated values at normal temperature:
a — breakaway torque M_{br} , N×m; *б* — unscrewing torque M_{uns} , N×m
 Source: by K.B. Deynova, M.V. Azanov.

Характеристики $M_{ср}$ при заданных температурах у выбранных аналогов оказались лучше, чем у других рассмотренных вариантов, и находились в пределах паспортных значений (15–25 Н×м). Это гарантирует надежность фиксации при эксплуатации, при этом данные фиксаторы относятся к средней прочности.

Сравнительный анализ характеристик подобранных аналогов показал, что ни один из них полностью не соответствует параметрам Loctite 243. Большинство аналогов демонстрируют более высокие показатели (рис. 6). Однако следует учитывать, что фиксатор-оригинал был протестирован в условиях, которые

могут быть охарактеризованы как аномальные по сравнению с условиями использования аналогов (см. описание выше). В частности, для образцов № 3 и № 4 зафиксированы значения, превышающие паспортные характеристики, что

указывает на их принадлежность к группе более прочных фиксаторов и не соответствует заявленной категории средней прочности, что являлось одним из основных требований поставленной задачи.

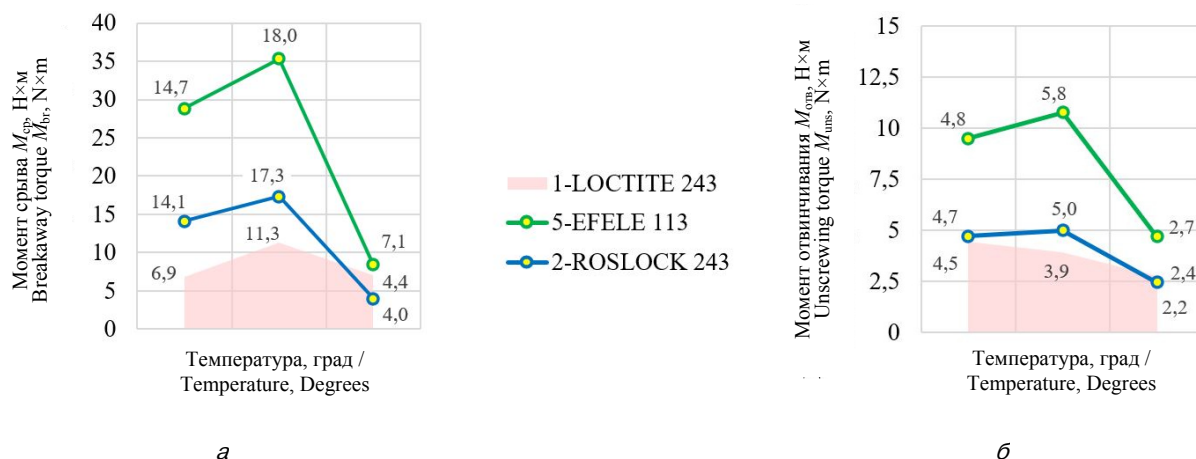


Рис. 6. Сравнение характеристик фиксаторов-аналогов с оригиналом: а — момент срыва $M_{бр}$, Н×м; б — момент отвинчивания $M_{отв}$, Н×м
И с т о ч н и к: выполнено К.Б. Дейновой, М.В. Азановым

Figure 6. Comparison of the characteristics of analog fixators with the original: а — breakaway torque M_{br} , N×m; б — unscrewing torque M_{uns} , N×m
S o u r c e: by K.B. Deynova, M.V. Azanov.

Заклучение

В результате проведенного исследования подобраны отечественные аналоги универсального однокомпонентного анаэробного резьбового фиксатора средней прочности Loctite 243. Наилучшими из них оказались герметики марок EFELE 113 и ROSLOCK 243. Они обеспечивают сопоставимое качество фиксации и надежность при сохранении уровня фиксации в условиях, аналогичных экспериментальным.

Использование выбранных аналогов позволяет снизить стоимость продукции примерно в 8,2 и 9,5 раза по сравнению с Loctite 243. Это способствует повышению доступности (стабильности и уровня логистики), сокращению сроков поставок, а также снижению связанных с этим рисков, включая санкционные. Соотношение цены и качества продукции рассмотренных производителей является оптимальным. Выбранные фиксаторы-аналоги позволяют

достичь качества (обеспечение требуемой фиксации) и надежности (поддержание уровня фиксации с течением времени в рассматриваемых условиях).

Исследование имеет практическую направленность и основано на FMEA-анализе (Failure Mode and Effects Analysis), а также оценке робастности процесса внедрения и последующего использования аналогов на предприятиях машиностроительной отрасли. Экспериментальные данные, полученные в ходе исследования, являются достоверными исключительно для конкретного случая и не могут служить шаблоном для выбора фиксаторов резьбовых соединений указанных марок.

Подобранные аналоги обладают индивидуальными преимуществами, которые позволяют им конкурировать с оригинальным продуктом. Однако для более объективной оценки рекомендуется проведение дополнительных исследований.

Список литературы

1. *Валиуллина А.А., Каратаев О.Р.* Исследование прочностных характеристик резьбовых соединений // Евразийский союз ученых. 2015. № 10–2 (19). С. 36–38. EDN: VBGXQH
2. *Суслов А.Г., Дальский А.М.* Научные основы технологии машиностроения. Москва : Машиностроение, 2002. 684 с. ISBN 5-217-03108-5
3. *Родионов Ю.В., Карпухин С.В., Суменков С.В.* Теоретическое обоснование безотказности резьбовых соединений автомобилей в процессе эксплуатации // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 3. С. 135–141. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-3-135> EDN: BEMOCL
4. *Лукаш И.Ю., Бахарев А.А.* Анализ причин и последствий неточной (неравномерной) затяжки резьбовых соединений машин // Наука и образование. Мичуринск, 2021. Т. 4. № 2. № ст. 31. EDN: XHLOOP
5. *Лукашук М.Д., Кабаков А.С., Лукашук А.Д.* Современные способы фиксации резьбового соединения // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта : сборник статей ВНИПК. Екатеринбург : УрФУ, 2020. С. 132–133. EDN: XHSUQD
6. *Осинов К.Н.* К вопросу оценки качества сборки резьбовых соединений в автоматизированном производстве // Автоматизация и измерения в машиноприборостроении. 2018. № 1 (1). С. 23–29. EDN: YMHNXV
7. *Стерхов А.В.* Применение анаэробных герметиков: перспективы для арматуростроения // Арматуростроение. 2022. № 2 (137). С. 34–39. EDN: TMUIFK
8. *Кочетков Д.В., Воячек И.И., Зверовщиков А.Е.* Разработка и исследование функциональных моделей резьбовых соединений типа стяжки при сборке с анаэробными материалами // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2016. № 4 (20). С. 115–127. EDN: XKOMBJ
9. *Ли Р.И., Малюгин В.А.* Прочность анаэробных герметиков, наполненных металлическими наноразмерными частицами // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : сборник научных трудов XIV МНПК. Курск : ЗАО «Университетская книга», 2019. С. 113–117. EDN: ZBBFLF
10. *Li R.I., Psarev D.N., Malyugin V.A.* Modification of anaerobic sealants by metal nanoparticles // *Polymer Science, Series D*. 2019. Vol. 12. P. 376–380. <https://doi.org/10.1134/S1995421219040075>
11. *Сухов А.В., Сундуков С.К., Фатюхин Д.С.* Сборка резьбовых и клеерезьбовых соединений с наложением ультразвуковых колебаний // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2024. Т. 26. № 3. С. 6–23. <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2024-26.3-6-23>
12. *Петухов А.Н.* К вопросу о механизме фреттинга и фреттинг-усталости в прессовых и малоподвижных соединениях деталей и узлов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения : труды МНТК. Самара : СГАУ, 2003. Ч. 2. С. 378–383. EDN: UYCZOT
13. *Малыгин В.И., Лобанов Н.В., Васильев А.В.* Фрикционные характеристики материалов резьбовых соединений сборных гребных винтов // Машиностроение и инженерное образование. 2013. № 3. С. 28–34. EDN: RTVUEN
14. *Курушин М.И., Курушин А.М.* Самоотвинчивание гаек при вибрационном нагружении резьбовых соединений // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Самара : СГАУ, 2003. Ч. 1. С. 278–286. EDN: URSOAP
15. *Конonenко А.С., Псарев Д.Н., Рожнов А.Б.* Стойкость к старению и вибрационным нагрузкам полимерного композиционного материала на основе анаэробного герметика «АН-111» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 5 (93). С. 4–8. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-5-4-8>
16. *Ли Р.И., Рожнов А.Б., Хатунцев В.В.* Исследование деформационно-прочностных свойств полимерной нанокompозиции на основе анаэробного герметика АН-111 // Вестник МичГАУ. 2014. № 6. С. 43–46. EDN: TLMLFV
17. *Песин М.В., Субботин Д.А., Баева М.А., Федосеева А.И., Туранский Р.А., Шакиров Р.К., Григорьева А.В.* Пути решения проблемы разрушения резьбовых соединений нефтепромыслового и бурового оборудования // Экспозиция Нефть Газ. 2015. № 4. С. 18–20. EDN: UBGPBV
18. *Toirov I.J., Batirov Z.L., Razzakov T.* Physical and mechanical properties of anaerobic sealants // *E3S Web of Conf.*, V ISC “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO — 2023). 2023. Vol. 401. Article no. 03015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103015>
19. *Stamper D.J.* Curing characteristics of anaerobic sealants and adhesive // *British Polymer Journal*. 1983. Vol. 15. No. 1. P. 34–39. <https://doi.org/10.1002/pi.4980150109>
20. *Черкасов В.Д., Бородин А.В.* Влияние технологических добавок на адгезионные свойства герметика // Строительство и реконструкция. 2025. № 3. С. 129–135. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2025-119-3-129-135> EDN: UTDGDV

References

1. Valiullina AA, Karataev OR. Study of strength characteristics of threaded connections. *Eurasian union of scientists*. 2015;10-2(19):36–38. (In Russ.) EDN: VBGXQH

2. Suslov AG, Dal'skiy AM. *Scientific foundations of mechanical engineering technology*. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 2002. (In Russ.) ISBN 5-217-03108-5
3. Rodionov YuV, Karpushin SV, Sumenkov SV. Theoretical justification for the reliability of threaded connections of cars during operation. *Intelligence. Innovations. Investments*. 2020;(3):135–141. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-3-135> EDN: BEMOCL
4. Lukash IYu, Bakharev AA. Analysis of the causes and consequences of inaccurate (irregular) tightening of threaded machines connections. *Science and education*. 2021;4(2);31. (In Russ.) EDN: XHLOOP
5. Lukashuk MD, Kabakov AS, Lukashuk AD. Modern methods of fixing threaded connections. *Innovative development of land transport equipment and technologies: a collection of articles of the All-Russian SPC*; 2019 Dec 06; Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University. 2020. p. 132–133. (In Russ.) EDN: XHSUQD
6. Osipov KN. To the question of assessing the quality of assembly of threaded connections in automated production. *Automation and Measurements in Mechanical Engineering*. 2018;1(1):23–29. (In Russ.) EDN: YMHXV
7. Sterkhov AV. Application of anaerobic sealants: prospects for valve engineering. *Valve Engineering*. 2022;2(137):34–39. (In Russ.) EDN: TMUIFK
8. Kochetkov DV, Voyachek II, Zverovshchikov AE. Development and research of functional models threaded connections type gathering in assembly anaerobic materials. *Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society*. 2016;4(20):115–127. (In Russ.) EDN: XKOMBJ
9. Li RI, Malyugin VA. Strength of anaerobic sealants filled with metal nanoparticles. *Modern instrumental systems, information technologies and innovations*; 2019 Mar 13–14; Kursk. Universitetskaya kniga; Kursk; 2019. p. 113–117. (In Russ.) EDN: ZBBFLF
10. Li RI, Psarev DN, Malyugin VA. Modification of anaerobic sealants by metal nanoparticles. *Polymer Science, Series D*. 2019;12:376–380. <https://doi.org/10.1134/S1995421219040075>
11. Sukhov AV, Sundukov SK, Fatyukhin DS. Assembly of threaded and adhesive-threaded joints with the application of ultrasonic vibrations. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)*. 2024;26(3): 6–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2024-26.3-6-23>
12. Petukhov AN. On the mechanism of fretting and fretting fatigue in pressed and low-mobility joints of parts and units. *Problems and Prospects of Engine Engineering Development*; 2003 Jun 26–27; Samara. Samara; Samara National Research University; 2003. p. 378–383. (In Russ.) EDN: UYCZOT
13. Maligin VI, Lobanov NV, Vasiliev AV. Research on friction behavior of thread joint materials for built-up marine propellers. *Mechanical Engineering and Engineering Education*. 2013;3:28–34. (In Russ.) EDN: RTVUEN
14. Kurushin MI, Kurushin AM. Self-loosening of nuts under vibration loading of threaded connections. *Problems and Prospects of Engine Building Development*; 2003 Jun 26–27; Samara. Samara; Samara National Research University; 2003. p. 278–286. (In Russ.) EDN: URSOAP
15. Kononenko AS, Psarev DN, Rozhnov AB. Resistance to aging and vibration loads of a polymer composite material based on the anaerobic sealant “AH-111”. *Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education “Moscow State Agro-engineering University Named After V.P. Goryachkin”* 2019;5:4–8. (In Russ.) <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-5-4-8>
16. Li RI, Rozhnov AB, Khatuntsev VV. Research deformation-strength properties of polymeric nanocomposition on the basis of anaerobic hermetic AN-111. *Bulletin of MichSAU*. 2014;6:43–46. (In Russ.) EDN: TLMLFV
17. Pesin MV, Subbotin DA, Baeva MA, Fedoseeva AI, Turansky RA, Shakirov RK, Grigorieva AV. Solutions to the problem of the destruction of the threaded joints of artificial lift and drilling equipment. *Oil Gas Expo*. 2015;4:18–20. (In Russ.) EDN: UBGPPB
18. Toirov IJ, Batirov ZL, Razzakov T. Physical and mechanical properties of anaerobic sealants. *E3S Web of Conf., V ISC “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO — 2023)*. 2023;401:03015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103015>
19. Stamper DJ. Curing characteristics of anaerobic sealants and adhesive. *British Polymer Journal*. 1983; 15(1):34–39. <https://doi.org/10.1002/pi.4980150109>
20. Cherkasov VD, Borodin AV. Influence of technological additives on the adhesive properties of sealant. *Building and Reconstruction*. 2025;(3):129–135. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2025-119-3-129-135>

Сведения об авторах

Дейнова Кристина Борисовна, аспирант базовой кафедры машиностроительных технологий, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; eLIBRARY SPIN-код: 2640-1910, ORCID: 0009-0002-1864-9564; e-mail: kristina.deinova@yandex.ru

Малькова Марианна Юрьевна, доктор технических наук, профессор базовой кафедры машиностроительных технологий, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; eLIBRARY SPIN-код: 2680-1505, ORCID: 0000-0002-6939-1658; e-mail: marianna300@yandex.ru

Азанов Матвей Васильевич, ассистент базовой кафедры энергетического машиностроения, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; eLIBRARY SPIN-код: 6483-4716, ORCID: 0000-0003-3053-9210; e-mail: azanov-mv@rudn.ru

Задиранов Александр Никитович, доктор технических наук, профессор кафедры процессов горения и экологической безопасности, Учебно-научный комплекс процессов горения и экологической безопасности, Академия государственной противопожарной службы, Российская Федерация, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4, стр. 2; eLIBRARY SPIN-код: 2873-6465, ORCID: 0000-0001-7787-8290; e-mail: zadiranov@mail.ru

Азанов Алексей Васильевич, аспирант кафедры техники и технологий транспорта, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; eLIBRARY SPIN-код: 3965-5177, ORCID: 0009-0008-4297-1696; e-mail: aav-26.02@yandex.ru

Сагадеев Рустам Амирович, студент кафедры физики наноразмерных систем института естественных и точных наук, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Российская Федерация, 454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76; ORCID: 0009-0004-6885-5125; e-mail: Rustam.Sagadeev.93@mail.ru

About the authors

Kristina B. Deynova, Postgraduate student of the Basic Department of Mechanical Engineering Technologies, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 2640-1910, ORCID: 0009-0002-1864-9564; e-mail: kristina.deinova@yandex.ru

Marianne Yu. Malkova, D. Sc. (Technology), Professor of the Basic Department of Mechanical Engineering Technologies, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 2680-1505, ORCID: 0000-0002-6939-1658; e-mail: marianna300@yandex.ru

Matvey V. Azanov, Assistant Lecturer at the Basic Department of Power Engineering, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 6483-4716, ORCID: 0000-0003-3053-9210; e-mail: azanov-mv@rudn.ru

Alexander N. Zadiranov, Doctor of Technical Sciences, Professor of Combustion Behavior and Environmental Safety Department, Educational and Scientific Complex of Combustion Processes and Environmental Safety, State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 4 Boris Galushkin St, buil. 2, Moscow, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 2873-6465, ORCID: 0000-0001-7787-8290; e-mail: zadiranov@mail.ru

Alexey V. Azanov, Postgraduate student of the Department of Engineering and Technology of Transport, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 3965-5177, ORCID: 0009-0008-4297-1696; e-mail: aav-26.02@yandex.ru

Rustam A. Sagadeev, Student of the Department of Physics of Nanoscale Systems, South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation; ORCID: 0009-0004-6885-5125; e-mail: Rustam.Sagadeev.93@mail.ru