

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

П.В. Пучков, А.А. Покровский, М.Ю. Колобов

Павел Владимирович Пучков*, Аркадий Алексеевич Покровский
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
г. Иваново, Россия. 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр. Строителей, 33.
E-mail: palpuch@mail.ru*, aapokrovsky@mail.ru,
Михаил Юрьевич Колобов
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.
E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru

Представлены результаты исследования влияния различных агрессивных сред на химическое и электрохимическое коррозионное разрушение резьбовых соединений. В результате данных явлений в резьбовых зазорах соединений образуются оксидные пленки, приводящие к преждевременной потере работоспособности крепежных деталей или увеличению момента отвинчивания. Явления коррозии резьбовых соединений существенно снижают срок их эксплуатации, затрудняют сборочно-разборочные операции при техническом обслуживании и ремонте пожарной техники. Проведенные экспериментальные исследования показали зависимость изменения момента отвинчивания резьбовых соединений при действии на них различных агрессивных сред и смазочных материалов.

Ключевые слова: резьбовое соединение, агрессивная среда, смазочный материал, момент отвинчивания

STUDY OF THE INFLUENCE OF CORROSION PHENOMENA ON THE PERFORMANCE OF THREADED CONNECTIONS

P.V. Puchkov, A.A. Pokrovsky, M.Yu. Kolobov

Pavel Vladimirovich Puchkov*, Arkady Alekseevich Pokrovsky
Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Ivanovo, Russia. 153040, Ivanovo region, Ivanovo, Stroiteley ave., 33.
E-mail: palpuch@mail.ru*, aapokrovsky@mail.ru
Mikhail Yurievich Kolobov
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru

The article presents the results of a study examining the effects of various aggressive environments on the chemical and electrochemical corrosion of threaded connections. These processes result in the formation of oxide films in the threaded joint gaps, leading to premature failure of fasteners or increased loosening torque. Corrosion of threaded connections significantly reduces their service life and complicates assembly and disassembly operations during maintenance and repair of fire-fighting equipment. Experimental studies have demonstrated the dependence of changes in loosening torque on threaded connections when exposed to various aggressive environments and lubricants.

Keywords: threaded connection, aggressive environment, lubricant, unscrewing torque

Для цитирования:

Пучков П.В., Покровский А.А., Колобов М.Ю. Исследование влияния коррозионных явлений на работоспособность резьбовых соединений. *Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение*. 2026. № 2. С. 116-122. DOI: 10.6060/snt.20268602.14

For citation:

Puchkov P.V., Pokrovsky A.A., Kolobov M.Yu. Study of the influence of corrosion phenomena on the performance of threaded connections. *Modern high technology. Regional application*. 2026. N 2. P. 116-122. DOI: 10.6060/snt.20268602.14

По статистике только 10% машин и механизмов не требуют активной антикоррозионной защиты, а большинство устройств работает в условиях агрессивных и слабоагрессивных сред. При этом безвозвратные потери составляют до 12% от первоначальной массы металла [1]. Углеродистые стали, являясь одним из основных конструкционных материалов, имеют существенный недостаток – низкую коррозионную стойкость. Процессы коррозии происходят в результате взаимодействия стальных деталей с окружающей средой. В зависимости от среды коррозию подразделяют на химическую и электрохимическую.

Кинетика коррозионного электрохимического процесса описывается графической зависимостью (рис. 1). Диаграммы отражают кинетику анодной и катодной реакций. Значение потенциала откладывается по оси ординат, а величины анодного и катодного токов – по оси абсцисс. Данные зависимости носят название поляризационных кривых, которые отражают зависимости между силой тока и потенциалом, и могут быть получены опытным путем. Данные кривые могут соответствовать работе деталей в определенных коррозионных условиях работы. Поляризационная коррозионная диаграмма строится на основании катодной E_k и анодной E_a поляризационных кривых коррозионной пары и известных поверхностей катода и анода. При незначительном омическом сопротивлении точка пересечения анодной и катодной кривых S равна значению максимального коррозионного тока $I_{\max}$. Диаграмма позволяет графически определить значения анодной (ΔE_a) и катодной (ΔE_k) поляризаций.

Химическая коррозия, а в частности атмосферная, является одним из самых распространенных видов коррозии, которой подвержено до 80% стальных деталей и конструкций, эксплуатируемых в атмосферных условиях. В отличие от электрохимической скорость атмосферной коррозии определяется степенью увлажнения поверхности металла. На скорость атмосферной коррозии оказывает влияние толщина слоя влаги на поверхности металла (рис. 2).

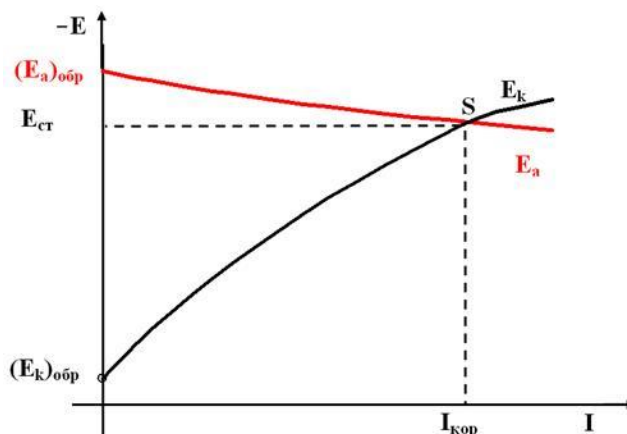


Рис. 1. Поляризационная диаграмма коррозии металла
Fig. 1. Polarization diagram of metal corrosion

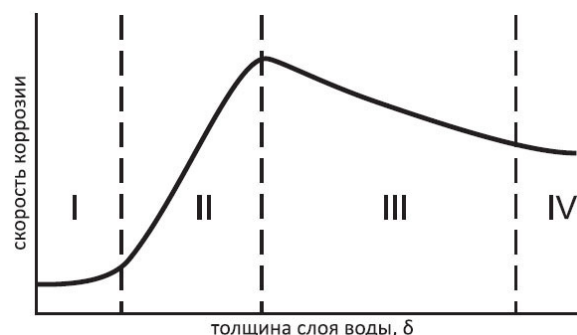


Рис. 2. Скорость атмосферной коррозии в зависимости от толщины слоя влаги на поверхности материала
Fig. 2. Atmospheric corrosion rate depending on the thickness of the moisture layer on the material surface

Участок I соответствует толщине жидкостной пленки от 1 до 10 нм, на участке II слой пленки от 10 до 10000 нм, третий участок – от 1 мкм до 1 мм. Считается, что при толщине слоя влаги свыше 1 мм коррозия протекает при полном погружении (участок IV). Из графика видно, что минимальная скорость коррозии наблюдается на участке I (химическая коррозия). Максимальная скорость коррозии находится на границе участков II и III. На участках III и IV скорость данного процесса уменьшается по причине снижения диффузионных явлений кислорода через увеличенный слой воды. С увеличением толщины пленки воды

происходит переход механизма коррозии от химического к электрохимическому, что соответствует быстрому возрастанию скорости коррозионного процесса. На практике процессы химической и электрохимической коррозии обратимы в зависимости от изменения внешних условий. Общая скорость коррозии определяется наличием на поверхности фазовой влаги и её составом. С повышением температуры увеличивается скорость коррозионных процессов, так как возрастает скорость диффузии кислорода к поверхности. Напротив, при отрицательных температурах скорость коррозии снижается ввиду того, что лёд в отличие от воды является диэлектриком.

Результаты анализа эксплуатационных испытаний пожарных автомобилей на пробегах, близких к капитальному ремонту, показывают, что одной из причин потери работоспособности узлов и деталей является коррозия резьбовых соединений. При этом исследования последних лет показывают, что до 40% трудозатрат сборочно-разборочных операций при техническом обслуживании и ремонте техники приходится на резьбовые соединения. Данные соединения являются и наиболее распространенными разъемными соединениями во всех технических устройствах, в том числе и в пожарной технике. Широкое распространение резьбовых соединений в конструкциях современных машин объясняется их высокими конструктивными и техническими достоинствами. Вследствие непрерывно возрастающих требований к быстроходности, долговечности, экономичности и к снижению массы машин необходимо учитывать режимы работы, а также технологические и эксплуатационные факторы.

В процессе эксплуатации пожарной техники резьбовые соединения испытывают знакопеременные нагрузки, воздействие высокой температуры, коррозионной и абразивной сред, что может приводить их к поломке, стабильности затяжки или невозможности проведения ремонтных операций вследствие потери подвижности в паре винт – гайка [2-4]. Опыт эксплуатации машин показывает, что надежная работа резьбовых соединений в значительной мере определяется правильностью их затяжки, характеризуемой рядом показателей [5]:

- величиной усилия предварительной затяжки;
- точностью осуществления данного усилия в соединении;
- равномерностью затяжки групповых соединений;
- стабильностью затяжки соединений.

Контроль резьбовых соединений проводится в целях определения их надежности и дол-

говечности, которые в значительной степени определяются правильностью затягивания деталей резьбового соединения в процессе сборки. В технических условиях на сборку ответственных резьбовых соединений указывают предельные значения крутящих моментов затягивания гаек и винтов, которые обычно устанавливают в зависимости от диаметра резьбы и материала деталей резьбового соединения.

Контроль резьбовых соединений является важной частью технологического процесса их сборки. На практике наиболее удобный способ контроля усилия затягивания – применение предельных и динамометрических ключей [6]. При затяжке резьбовых соединений момент на ключе, прикладываемый к гайке или головке винта, расходуется на преодоление трения торца гайки о неподвижную опорную поверхность соединяемых деталей и сопротивления в резьбе. Момент затяжки может быть рассчитан по формуле [5]:

$$M = Q(kd + \mu R), \quad (1)$$

где Q – растягивающая сила, k – коэффициент, d – наружный диаметр резьбы, μ – коэффициент трения, R – приведенный радиус трения.

Коэффициенты трения, как показали многочисленные исследования, нестабильны и зависят от целого ряда факторов: наличия и вида покрытия резьбы, состояния трущихся поверхностей давления в контакте, погрешности формы контактирующих поверхностей повторяемости сборки и скорости завинчивания. Кадмирование и цинкование не только защищает болты от коррозии, но и снижают коэффициенты трения. Повторные затяжки кадмированных и луженых болтов несколько снижают значения коэффициентов трения. Во всех остальных случаях происходит увеличение коэффициентов трения, приводящее к заеданию в резьбе. Это следует учитывать при эксплуатации во избежание недостаточной затяжки соединений или их перетяжки.

В резьбовых соединениях, работающих при нормальных и повышенных температурах, часто наблюдается заедание, а после некоторого времени работы могут возникнуть трудности с отвинчиванием гайки. Заедание в соединении начинается с местного сваривания, а последующие относительные движения приводят к повреждению поверхности (задирам). Образование зон сварки обусловлено переносом частиц одного металла на другой. Эти связи могут быть прочнее внутренних связей в металле при достаточных давлениях на поверхности контакта в резьбе. В обычных условиях контакта поверхностей деталей

из углеродистых сталей сваривание предотвращается окисной пленкой или пленкой адсорбированного на поверхности газа. Однако, в соединениях возможно образование зон холодной сварки через смазочную пленку. Антифрикционные свойства сталей и сплавов и склонность их к заеданию можно оценивать по среднему контактному давлению на виток.

Часто перед свинчиванием резьбовые соединения смазывают. Основные требования, предъявляемые к смазочным материалам, являются его противозадирные свойства. Наиболее эффективными в этом отношении оказываются такие сорта смазочных материалов, которые хорошо сцепляются с молекулами металла, имеют высокую прочность мономолекулярных слоев и обладают свойством самовосстановления. К их числу относятся графитовые смазочные материалы, дисульфид молибдена, масла с присадками жирных кислот или некоторых соединений серы, хлора и фосфора. Смазочный материал снижает на 20–40% и стабилизирует значения коэффициентов трения, а также устраняет заедание. Качество смазки зависит от прочностных свойств граничного слоя, которые определяются в основном природой смазочного материала и адгезией.

В нашем случае для повышения подвижности резьбовых соединений, контактирующих с агрессивными жидкими средами, было предложено наносить на резьбовую поверхность различные смазочные материалы: жировой солидол «OILRIGHT», силиконовый герметик «АВТОСИЛ» (серый), графитовую смазку «FELIX», смазку «ФИОЛ-2У», авто пластилин, смазку №158М «Ойлрайт».

Жировой солидол «OILRIGHT» – это пластичная смазка общего назначения, характеризующаяся высокой водостойкостью, хорошими консервационными свойствами и стабильностью против коррозии, работающая в диапазоне температур от –30 до +65°C, но имеющую ограниченную механическую стабильность.

Силиконовый герметик «АВТОСИЛ» (серый) применяется для формирования уплотнений в термонагруженных узлах автомобиля. Проявляет стойкость к маслам, антифризам и высоким температурам (до +250°C) с хорошей эластичностью (удлинение 100–180%) и прочностью (1,4–1,8 МПа).

Графитная смазка «FELIX» применяется для смазывания узлов трения нагруженных механизмов. Обеспечивает защиту механизмов от коррозии при больших нагрузках, обладая низким коэффициентом трения, за счет содержания в составе твердых частиц, что позволяет применять

смазку в резьбовых соединениях. Смазка обладает уплотняющими свойствами, которые позволяют обеспечить защиту соединений от проникновения влаги и пыли.

Смазка «ФИОЛ-2У» (ТУ У 23.2-00152365-175-2003) – композиция нефтяных масел, загущенная литиевым мылом. Содержит дисульфид молибдена, а также антифрикционные добавки и антиокислительную присадку. Обладает хорошей водостойкостью, противозадирными характеристиками, а также высокой антиокислительной, коллоидной и механической стабильностью. Работоспособна при температуре – 40...+120°C.

Авто пластилин с преобразователем ржавчины обеспечивает долговечность и простоту демонтажа резьбовых соединений. Защищает от коррозии и обеспечивает герметичность сварных швов кузова. Термо- и морозостойкий. Хорошая адгезия к любым поверхностям.

Автомобильная смазка №158М «Ойлрайт» – нефтяное масло, загущенное литиево-калиевым мылом кислот касторового масла и канифоли. Содержит антиокислительную присадку и индантрен. Благодаря входящей в формулу смазки антиокислительной присадке фталоцианин меди имеет отличительный синий цвет. Отличается хорошей механической стабильностью и антиокислительными свойствами. Сохраняет свои рабочие свойства при температурах в диапазоне от –30 до +110 °C.

Для оценки эффективности вышеперечисленных смазочных материалов были проведены экспериментальные исследования, направленные на измерения момента откручивания резьбы резьбового соединения, после их выдержки на протяжении 60 суток в агрессивных средах.

Объектами исследования в нашей работе являлись резьбовые соединения, каждое из которых представляло собой соединение болта и двух гаек – рабочей и контргайки. Использовались детали с крепежной метрической резьбой М12 с классом прочности болтов 5.8 (рис. 3).



Рис. 3. Резьбовое соединение
Fig. 3. Threaded connection

Перед сборкой резьбовых соединений зазоры резьбы между гайкой и болтом подвергались обработке одним из вышеперечисленных смазочных материалов. Смазочный материал должен за-

полнять пустоты между витками наружной и внутренней резьбы соединения, препятствуя попаданию в них коррозионно-активных сред. Затем контргайка соединения фиксировалась неподвижно в слесарных тисках, а к верхней гайке при помощи ключа моментного показывающего КМ-140 и торцевой головки прикладывалось усилие затяжки 40 Нм. Испытательный стенд для затяжки и откручивания резьбовых соединений представлен на рис. 4.

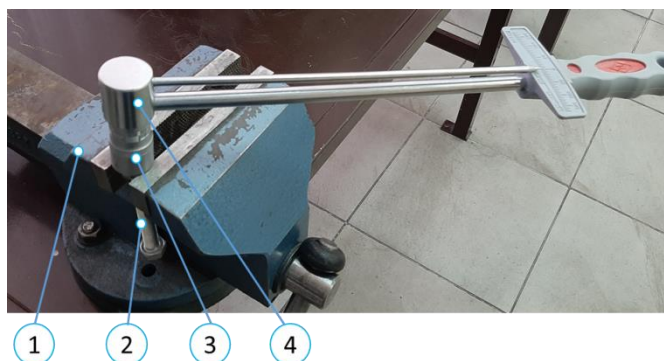


Рис. 4. Испытательный стенд для затяжки/откручивания резьбовых соединений с нормированным усилием: 1 – тиски слесарные; 2 – резьбовое соединение «Болт М12 – две гайки»; 3 – головка торцевая; 4 – ключ моментный показывающий КМ-140

Fig. 4. Test rig for tightening/loosening threaded connections with standardized torque: 1 – bench vise; 2 – threaded connection «M12 bolt – two nuts»; 3 – socket head; 4 – KM-140 indicating torque wrench

Предварительно обработанные смазочными композициями и подвергнутые затяжке на испытательном стенде соединения помещались в различные коррозионные жидкие среды путем полного погружения. Температура растворов составляла 21 °С.

Предварительные исследования [7, 8] показали, что одной из самых распространенных агрессивных сред, влияющих на работоспособность резьбовых соединений, является водный раствор NaCl, так как именно данный реагент применяется в зимнее время для обработки дорожных покрытий. Поэтому в качестве основной коррозионно-активной среды использовался данный раствор. Помимо раствора NaCl резьбовые соединения подвергались воздействию нефти марки Urals плотностью 870 кг/м³ с содержанием серы не более 1,4%.

По истечении шестидесяти суток образцы извлекались, просушивались и на испытательном стенде проводился демонтаж соединений с определением момента начала откручивания, то есть момента, при котором гайка начинала совершать вращение относительно резьбы болта. Измерение

величины момента откручивания определяли при помощи ключа КМ-140.

Исследования показали, что наибольшему коррозионному разрушению подверглось резьбовое соединение, находящееся в водном растворе поваренной соли (NaCl). Данный раствор является достаточно сильным электролитом, вызывающим электрохимическую коррозию металлов и сплавов. При контакте поверхности резьбовых соединений с коррозионной средой в первую очередь разрушается защитное цинковое покрытие на болтах (гайках), так как электродный потенциал цинка более электроотрицательный ($\varphi_{Zn} = -0,763$ В), чем электродный потенциал железа ($\varphi_{Fe} = -0,44$ В).

На рис. 5 представлены резьбовые соединения после выдержки в растворе NaCl без обработки резьбы смазочным материалом и с обработкой.

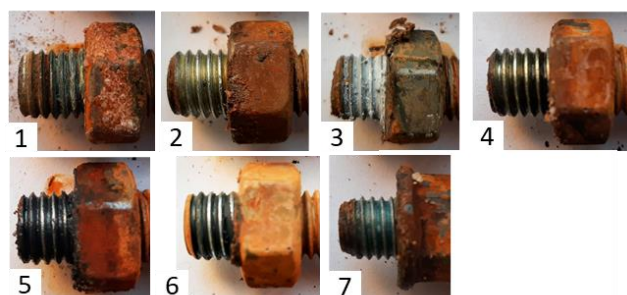


Рис. 5. Резьбовые соединения после выдержки в соляном растворе NaCl на протяжении 60 суток: 1 – без смазки; 2 – жировой солидол «Oilright»; 3 – «АВТОСИЛ»; 4 – графитовая «FELIX»; 5 – ФИОЛ-2У; 6 – Авто пластилин; 7 – №158М «Ойлрайт»

Fig. 5. Threaded connections after keeping in NaCl saline solution for 60 days: 1 – without lubrication; 2 – Oilright grease; 3 – AVTOSIL; 4 – FELIX graphite; 5 – FIOЛ-2U; 6 – Auto plasticine; 7 – №158M Oilright

На рис. 6 представлен график, иллюстрирующий зависимость момента отвинчивания от вида обработки резьбового соединения. Образцы №№ 1, 2, 3, 10 не обрабатывались смазочными материалами. Образец № 1 не подвергался действию агрессивной среды, поэтому момент отвинчивания для него равен моменту затяжки. Обработанные смазкой резьбовые соединения №№ 4, 5, 6, 7, 8, 9, как отмечалось ранее, были подвергнуты действию 10% водного раствора NaCl, соединение № 10 – действию нефти.

Из графика видно, что при одинаковом первоначальном усилии затяжки (40 Н·м) всех соединений момент отвинчивания существенно зависит от вида смазочного материала. Резьба необработанных образцов, наиболее подверглась коррозии, поэтому момент отвинчивания был максимальным (50 Н·м). Образцы, обработанные

консистентными смазками, показали меньшие моменты отвинчивания несмотря на то, что они в течение шестидесяти суток находились в агрессивной среде. Из консистентных смазок наиболее эффективно зарекомендовал себя Авто пластилин с моментом отвинчивания 27 Н·м, хорошо удерживаясь в зазоре резьбового соединения и, препятствуя попаданию в него агрессивной жидкости. Практически не изменился момент отвинчивания при действии смазки № 158М «Ойлрайт». Также практически не изменился момент отвинчивания соединения, помещенного в нефть несмотря на то, что резьба не обрабатывалась смазочным материалом. При этом на поверхности болта и гаек данного соединения наблюдались незначительные коррозионные повреждения.

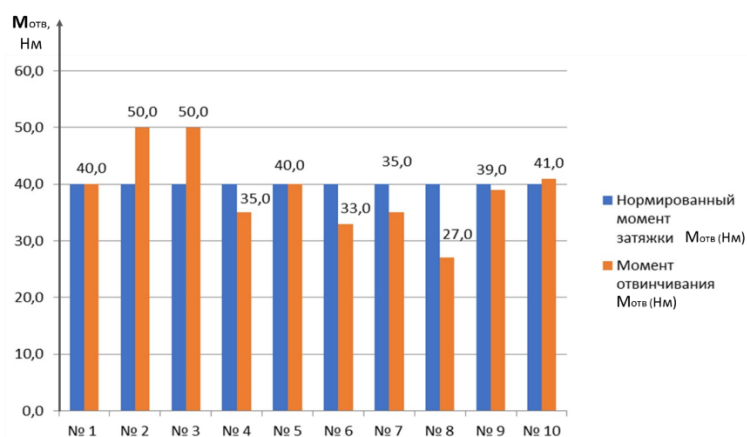


Рис. 6. Зависимость момента отвинчивания от вида обработки резьбового соединения: 1 – без обработки (на воздухе); 2 – без обработки (водопроводная вода) 3 – без обработки (NaCl); 4 – жировой солидол «Oilright» (NaCl); 5 – «АВТОСИЛ» (NaCl); 6 – графитовая «FELIX» (NaCl); 7 – ФИОЛ-2У (NaCl); 8 – Авто пластилин (NaCl); 9 – №158М «Ойлрайт» (NaCl); 10 – без обработки (нефть)
Fig. 6. The dependence of the loosening torque on the type of threaded connection treatment: 1 – Untreated (in air); 2 – Untreated (tap water); 3 – Untreated (NaCl); 4 – Oilright grease (NaCl); 5 – AVTOSIL (NaCl); 6 – FELIX graphite grease (NaCl); 7 – FIOL-2U (NaCl); 8 – Auto plasticine (NaCl); 9 – № 158M Oilright (NaCl); 10 – Untreated (petroleum)

На рис. 7 представлены зависимости между моментами отвинчивания (M , Н·м) и среднерыночной стоимостью смазки в рублях за 100 г продукта (руб./100 г) для шести различных смазочных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- Северный А.Э., Шилков В.Б., Андрианов В.Д. и др. Ремонт резьбовых соединений. М.: Колос, 1982. 47 с.
- Лучкин Р.С. Коррозия и защита металлических материалов (структурные и химические факторы): учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2017.
- Ломанова В.С., Можин Н.А., Тувин А.А. Применение ремонтно-восстановительных составов. *Современные*

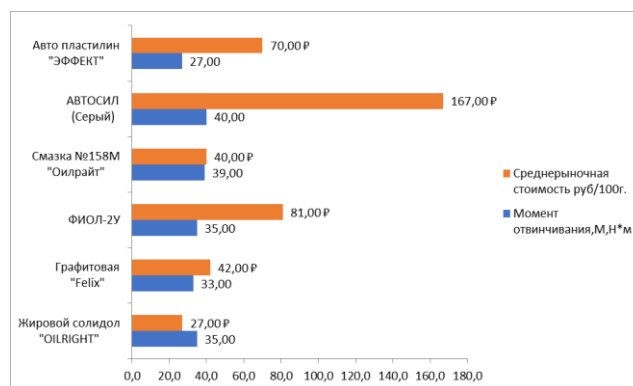


Рис. 7. Сравнительная диаграмма момента отвинчивания резьбового соединения и стоимости смазочного материала
Fig. 7. Comparative diagram of the torque of unscrewing a threaded connection and the cost of lubricant

Наиболее экономичной смазкой для защиты резьбовых соединений зарекомендовал себя жировой солидол «OILRIGHT». При стоимости 27 руб./100 г. момент отвинчивания составил 35 Н·м. При аналогичных моментах отвинчивания смазки «Фиол-2У» и графитовая смазка «Felix» стоят дороже жирового солидола на 66,7% и 35,7% соответственно.

Самый низкий момент отвинчивания у Авто пластилина (27 Н·м), но его стоимость составляет 70 руб./100 г, что на 61,4% выше, чем у жирового солидола.

Применение смазок «АВТОСИЛ» и №158М «Ойлрайт» практически не повлияло на момент отвинчивания, он оказался равным нормированному моменту затяжки.

Таким образом, для защиты резьбовых соединений от действия агрессивных сред наиболее целесообразно применение жирового солидола «OILRIGHT», который обеспечивает минимальный момент отвинчивания при минимальной стоимости смазки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

REFERENCES

- Severny A.E., Shilkov V.B., Andrianov V.D. etc. Repair of threaded connections. M.: Kolos, 1982. 47 p.
- Luchkin R.S. Corrosion and protection of metallic materials (structural and chemical factors): training manual. Tolyatti: TSU, 2017.
- Lomanova V.S., Mozhin N.A., Tuvin A.A. Application of repair and restoration compounds. *Modern high technologies.*

- научно-технические технологии. Региональное приложение. 2021. № 2(66). С. 84-88. DOI: 10.6060/snt.20216602.00011.
4. **Парфенов А.С., Сенатов Ю.А., Родинова П.А., Тувин А.А.** Применение смазочных материалов растительного происхождения модифицированных углеродными наночастицами в условиях абразивного трения. *Современные научно-технические технологии. Региональное приложение*. 2021. № 4(68). С. 63-68. DOI: 10.6060/snt.20216804.0009.
5. **Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Шарловский Ю.В.** Затяжка и стопорение резьбовых соединений: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
6. **Покровский Б.С.** Слесарно-сборочные работы: учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2016. 352 с.
7. **Каргаев З.С., Пучков П.В.** Исследование влияния некоторых жидких сред на коррозионное разрушение резьбовых соединений. Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 года. Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. С. 497-501.
8. **Пучков П.В.** Исследование эффективности применения различных смазочных материалов для повышения работоспособности и надежности резьбовых соединений. Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 года. Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. С. 534-538.
- Regional application*. 2021. N 2(66). P. 84-88. DOI: 10.6060/snt.20216602.00011.
4. **Parfenov A.S., Senatov Yu.A., Rodinova P.A., Tuvina A.A.** The use of lubricants of plant origin modified with carbon nanoparticles under conditions of abrasive friction. *Modern high technologies. Regional application*. 2021. N 4(68). P. 63-68. DOI: 10.6060/snt.20216804.0009.
5. **Iosilevich G.B., Stroganov G.B., Sharlovsky Yu.V.** Tightening and locking of threaded connections: Directory. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 224 p.
6. **Pokrovsky B.S.** Metalworking and assembly work: a textbook. M.: Publishing Center "Academy", 2016. 352 p.
7. **Kargayev Z.S., Puchkov P.V.** Study of the Influence of Certain Liquid Media on Corrosion Destruction of Threaded Connections. Reliability and Durability of Machines and Mechanisms: Collection of Materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference, Ivanovo, April 14, 2022. Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief", 2022. P. 497-501.
8. **Puchkov P.V.** Research of the Effectiveness of Using Various Lubricants to Improve the Performance and Reliability of Threaded Connections. Reliability and Durability of Machines and Mechanisms: Collection of Materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference, Ivanovo, April 14, 2022. Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies, and Disaster Relief of the Russian Federation", 2022. P. 534-538.

Поступила в редакцию 19.03.2026
Принята к опубликованию 18.05.2026

Received 19.03.2026
Accepted 18.05.2026