

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ

д.т.н. Кабанов Е.Б., к.т.н. Агеев В.С., инж. Дерновой А.Н., Паушева Л.Ю., Шурыгина М.П.
(Научно-производственный центр мостов, г. Санкт-Петербург)

Любые научные исследования входят в ежедневную практику строительства, лишь найдя отражение в нормативно-технической документации. Просматривая проекты отраслевых документов, проходящих в настоящее время актуализацию, трудно отделаться от мысли, что технологии устройства фрикционных соединений на высокопрочных болтах в мостостроении в нашей стране застыли на рубеже начала 80-х годов. Выпускаемые нормативные документы по-прежнему лишь закрепляют существующие традиции, и не создают условия для дальнейшего развития.

Вместе с тем, остались не замеченными перспективные разработки, которые объединяют общим понятием «технологии комплексной защиты металлоконструкций от коррозии». Идея ее проста – все работы по обеспечению требуемых проектом технологических характеристик деталей соединения и их длительную защиту от коррозии выполняют на заводах, а на строительной площадке лишь собирать соединение и окрашивают конструкции без предварительной подготовки. Многие научные идеи прошли стадию исследований и уже готовы сделать строительное производство вполне индустриальным и экономичным.

Сумма имеющихся сегодня технологий может существенно повлиять на подходы к проектированию и устройству болтовых соединений. Незначительные изменения, следуя «эффекту бабочки», открывают неожиданные и неограниченные перспективы. Присмотримся к ним.

Принятие ГОСТ Р 52643-2006 – ГОСТ Р 52646-2006 закрепило для практического применения использование высокопрочного крепежа с защитными покрытиями. Сняты ограничения по области применения высокопрочного крепежа. Мы вспомнили, что экономическая география планеты не ограничивается умеренным и холодным климатом территории нашей страны. Мы шагнули в морские проливы и можем строить в тропическом климате, по-прежнему должны монтировать конструкции в цехах с крайне агрессивной производственной атмосферой.

Одной из технологий защиты высокопрочного крепежа является применение комплексного покрытия на основе термически отверждаемой композиции Dacromet. Покрытие обеспечило хорошую защиту от коррозии болтокомплекта, исключило необходимость

подготовки болтов на строительной площадке и оказалось совместимым с эпоксидными и полиуретановыми лакокрасочными материалами. Это открыло возможность окрашивать болтовые соединения без их предварительной абразивоструйной очистки, т.е. исключило еще одну операцию.

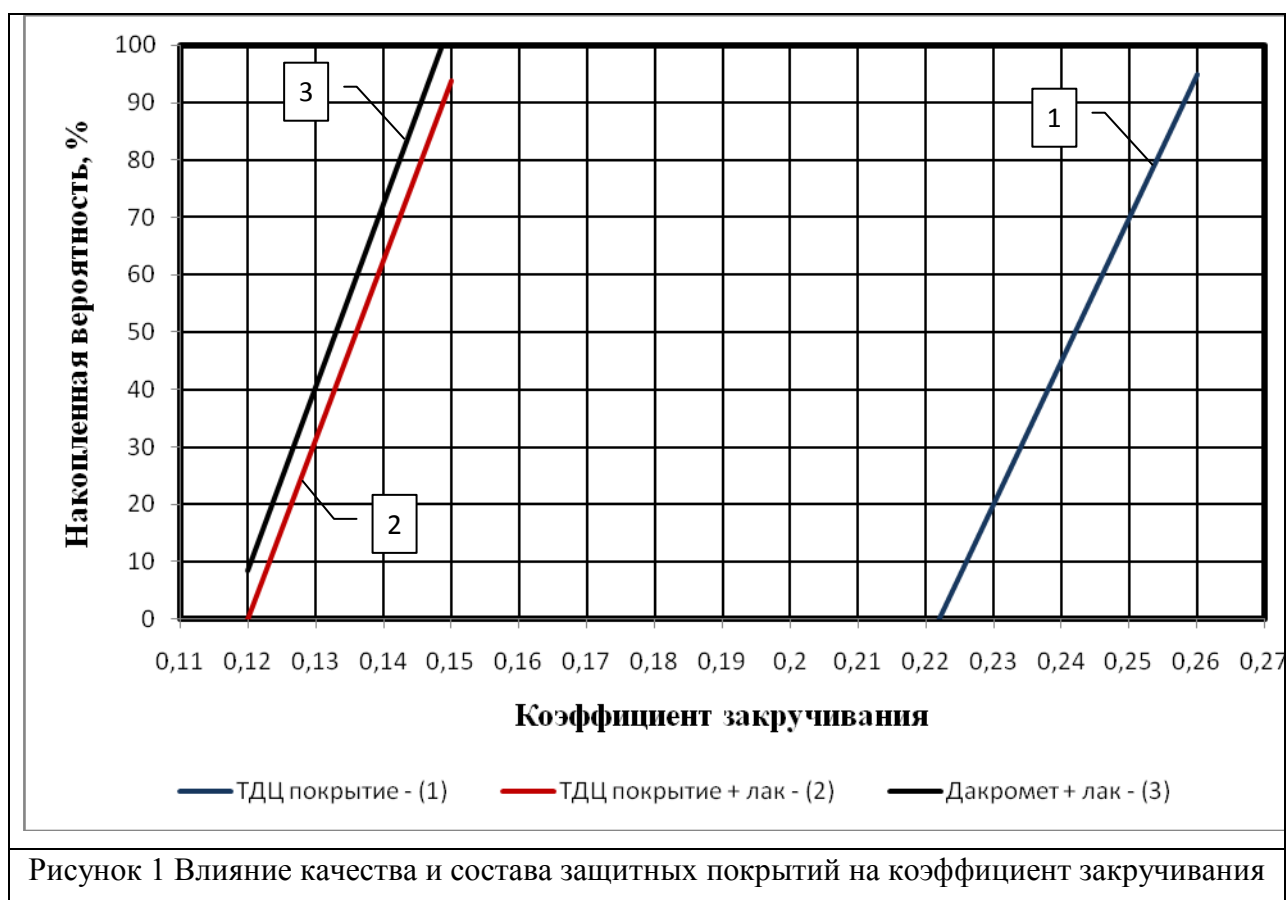
Кроме эффективной антикоррозионной защиты, использование композиции Dascomet позволило снизить величину и добиться стабилизации коэффициента закручивания – основной технологической характеристики высокопрочного крепежа, определяющей несущую способность и надежность болтового соединения, а также трудоемкость затяжки болтов. Коэффициент закручивания снижен в 1,32 раза (с 0,185 для болтов с черной оксидной пленкой до 0,125), что пропорционально снижает величину крутящего момента. Это, бесспорно, повышает качество операции затяжки болтов, поскольку меньшее усилие рабочий прикладывает без рывков и, следовательно, с большей точностью.

В адрес покрытия Dascomet высказывались опасения в том, что из-за низкого коэффициента трения со временем происходит ослабление затяжки. Поводом явились результаты проверки на некоторых объектах затяжки болтов спустя длительное время после сборки соединения, при которых гайка легко страгивалась ключом, и не всегда момент страгивания был больше проектного. Независимые исследования двух научных организаций опровергли это ошибочное мнение. По данным мониторинга за величиной затяжки болтов в пролетных строениях моста на главном ходу железнодорожной линии Москва – Санкт-Петербург, в течение одного года ослабление затяжки болтов не произошло, несмотря на вибрационное воздействие поездов. Наши исследования выявили изменение коэффициента закручивания на 7...10% в каждую сторону от среднестатистического значения, а значит и момента страгивания гайки, при изменении температуры от минус 30°C до 30°C. При этом усилие натяжения болта остается неизменным.

Таким образом, для потребителей оказалось непривычным то, что резьбовые соединения с покрытием Dascomet сохраняют длительное время разборность, и при этом не меняется усилие натяжения в болтах. Также при оценке результатов испытаний спорной следует считать уверенность, что затяжка болтов на мостах аккуратно выполняется и тщательно контролируется.

Второй технологией защиты высокопрочного крепежа от коррозии является термомодифузионное цинкование (ТДЦ покрытия). К сожалению, многократные попытки получить нормативное значение коэффициента закручивания болтокомплектов с ТДЦ покрытием ($K_{закр} = 0,11 - 0,20$) оказались неудачными. Попытка решить эту проблему за счет снижения точности болтов за счет расширения поля допуска до 8g (см. ГОСТ Р 53644-2010) нарушает нормативные требования к точности резьбы. Предложенное произ-

водителями промасливание ТДЦ покрытия снизило коэффициент закручивания до $K_{закр} = 0,17...0,18$. Однако такое решение сделало защитное покрытие крепежных изделий непригодным для дальнейшего окрашивания, поскольку удалить масло из пористого диффузионного слоя перед окраской и обеспечить требуемую адгезию лакокрасочных материалов можно лишь путем абразивоструйной очистки крепежа до чистого металла. Избежать бессмысленных затрат можно существенно улучшив качество покрытия за счет повышения содержания цинка в интерметаллиде в поверхностном слое ТДЦ покрытия. Второй путь – использование применяемых в комплексном покрытии Dacromet лаков для стабилизации коэффициента закручивания, перспективность которого подтверждается нашими исследованиями (рисунок 1).



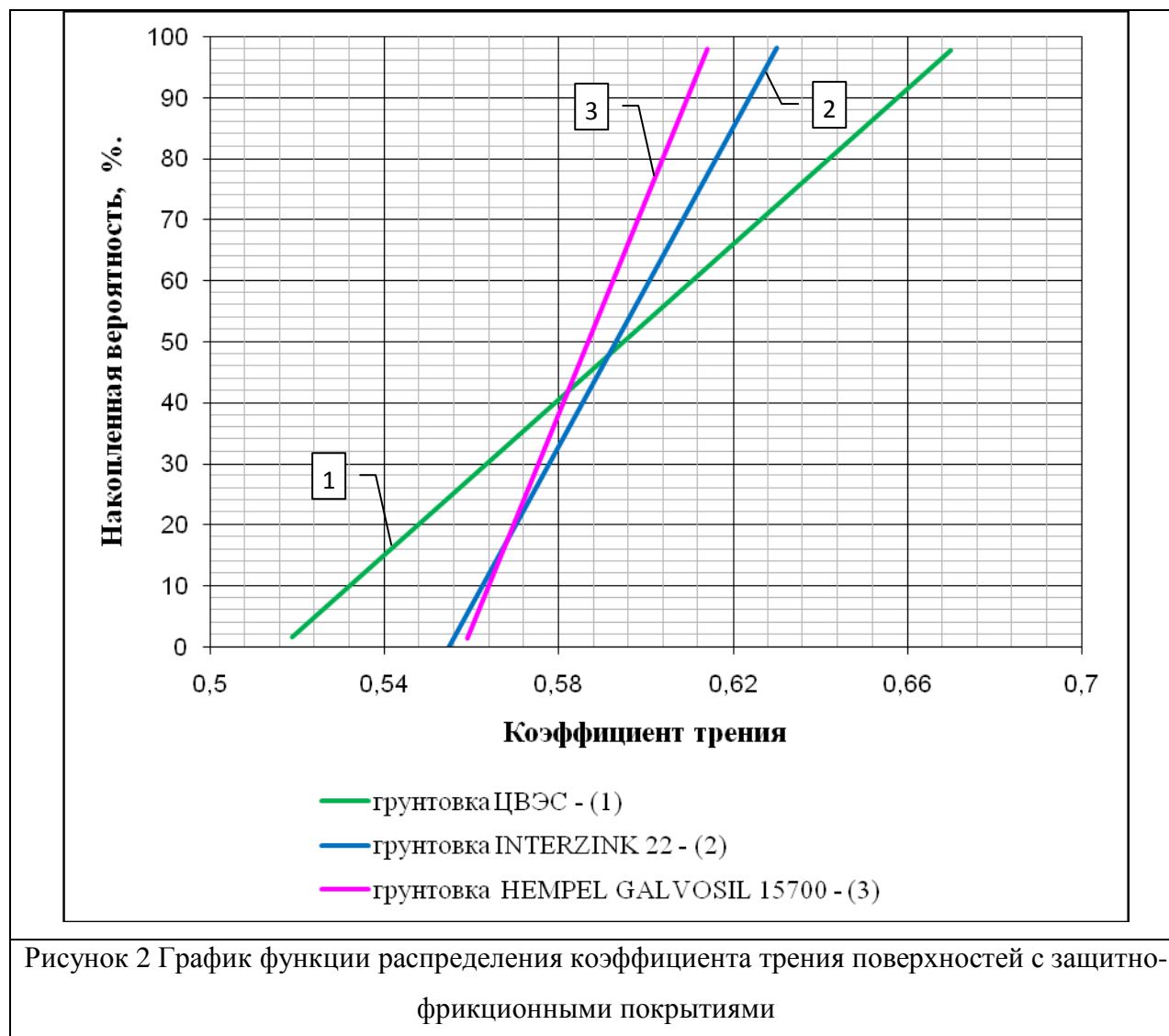
Таким образом, любой из рассмотренных выше способов защиты крепежа от коррозии исключает необходимость его подготовки на стройплощадке. Понижение коэффициента закручивания дает возможность широко применять крепеж М24 и М27, используя тот же инструмент для затяжки. Использование этих размеров резьбы раньше сдерживалось двумя причинами. Во-первых, из-за ограниченной прокаливаемости стали 40Х, что не позволяло получить стабильные свойства при диаметре резьбы более М22. Сегодня ГОСТ Р 52643-2006 разрешает производителям крепежа использовать иные марки стали, не имеющие подобного технологического ограничения, например, сталь 35ХМ и др., то-

гда как ГОСТ Р 53664-2010 по-прежнему сдерживает развитие метизов для мостостроения. Во-вторых, из-за отсутствия инструмента и необходимости приложения больших физических усилий для затяжки болтов более высокими крутящими моментами (для М24 крутящий момент на 28% выше, чем для М22, а для М27 он выше уже на 86%, что превышает физические возможности рабочего при работе рычажными ключами). Напомним, что защитное покрытие Dacromet снижает коэффициент закручивания на 32%. Следовательно, при переходе на болты М24 величина крутящего момента останется прежней, и можно будет использовать для затяжки болтов стандартные динамометрические ключи.

Поставленная цель будет достигнута, когда будут объединены усилия производителей крепежа и лакокрасочных материалов для проведения ускоренных климатических испытаний, чтобы можно было бы обосновано подтвердить Заказчику гарантию долговечности комбинированного защитного покрытия (дуплекс-системы) не менее 15 лет. После этого станет возможным производить окончательное окрашивание конструкции без предварительной абразивной очистки поверхностей. Такая работа уже ведется нашей организацией совместно с некоторыми производителями.

Вторым важным направлением повышения заводской готовности элементов фрикционных соединений является заводская консервация контактных поверхностей. Целью консервации является защита от коррозии на период до начала монтажа, и обеспечение заданных фрикционных характеристик поверхности на весь срок эксплуатации конструкции. В своих исследованиях мы рассматривали два направления – использование съемных и несъемных покрытий.

Идея окрашивания контактных поверхностей защитными цинкосодержащими покрытиями прослеживается в нормативных документах, разработанных в 70-е годы. Исследования различных организаций подтвердили возможность использования цинкосодержащих грунтовок на этилсиликатной основе в качестве фрикционно-защитных покрытий. Они обеспечивали коэффициент трения контактных поверхностей не ниже $K_{тр} = 0,58$ (рисунки 2).



Но, несмотря на удовлетворительные результаты испытаний, данное направление пока не имеет большого числа сторонников. Причина в том, что все исследования, начиная с 70-х годов по настоящее время, проведены на покрытиях, выдержанных после нанесения в течение 7...20 суток в лабораторных условиях, без длительной выдержки в эксплуатационных условиях. Следовательно, изменение фрикционных характеристик поверхностей с несъемными покрытиями не исследовалось, а характеристики принимались неизменно высокими. В действительности долговечность цинкосодержащих этилсиликатных покрытий составляет не более шести лет, что на порядок ниже срока эксплуатации болтового стыка. Поэтому применение несъемных покрытий в мостах без исследования характера изменения фрикционных характеристик во времени рискованно. В рамках научного сопровождения работ по одному из строящихся объектов в нашей организации разработана оригинальная методика подобных исследований. Но исследования были приостановлены, вполне вероятно, из-за неверия строителей в подтверждение высоких фрик-

ционных характеристик лакокрасочного покрытия через столь длительное время эксплуатации.

Еще одной проблемой при использовании несъемных фрикционно-защитных покрытий является релаксация усилия натяжения в болтах за счет обмятия покрытия. Исследования этого эффекта, выполненные нашей организацией, показали, что величина снижения усилия натяжения в болтах, стягивающих многолистовой пакет, достигает 10%. Это незначительно превышает значения релаксации, равные 6...8%, полученные в НИИ мостов на болтах, затянутых на однолистовых образцах. Расхождения незначительны, но требуют более детальных исследований с привязкой к длине болтов.

Проекты актуализируемых нормативных документов по проектированию и устройству соединений на высокопрочных болтах содержат обращения к несъемным консервационным покрытиям. Но по противоречивости приведенных в них данных о влиянии толщины покрытия на коэффициент трения, а также по величине коэффициента надежности, можно судить о недостаточности исследований, на которые опирались авторы документов, и излишней торопливости внесения этой технологии в нормативный документ.

Вполне очевидно, что несъемные лакокрасочные цинкнаполненные покрытия уступают по прочности наполнителя клее-фрикционному покрытию с карборундовой крошкой. Очевидно, нормативное значение коэффициента трения для несъемных покрытий не должно превышать расчетное значение этого показателя для клее-фрикционного соединения. Его не следует принимать более $K_{тр} = 0,5$. Кроме того, в величине коэффициента надежности для расчета несущей способности болтоконтакта должно найти отражение влияние толщины покрытия, релаксации усилия в болтах из-за неупругого обмятия покрытия в соединении, а также величина разброса значения коэффициента трения поверхности, коэффициента закручивания для болтов и прикладываемого крутящего момента.

Более подготовленным к внедрению направлением заводской консервации контактных поверхностей является использование съемных покрытий, наносимых после дробеструйной очистки конструкции перед окраской, и удаляемых непосредственно перед сборкой соединения. Данный вид консервации, по нашему мнению, более перспективен, поскольку после удаления покрытия несущая способность соединения обеспечивается шероховатостью металла, а не более мягким цинкнаполненным полимером.

В нашей организации разработана лакокрасочная композиция, обладающая минимальной адгезией к шероховатой поверхности и обеспечивающая защиту от коррозии не менее двух лет (рисунок 3). Покрытие удаляется в диапазоне температур от 50°C до минус 40°C.

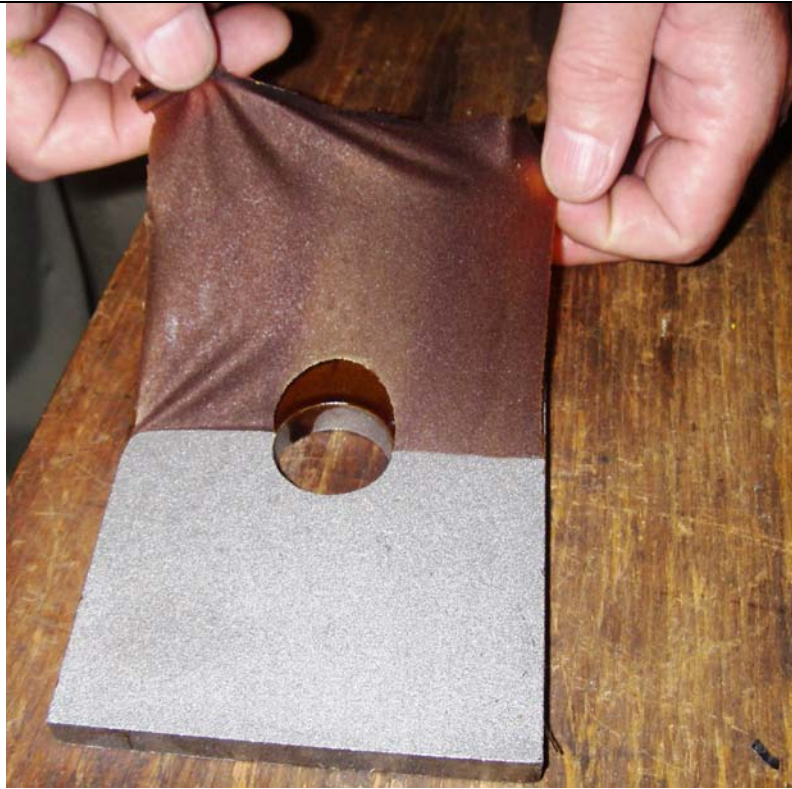


Рисунок 3 Удаление покрытия «Контакт» с поверхности испытательного образца

Эксперименты показали, что после удаления съемного покрытия коэффициент трения поверхности практически не изменяется. На рисунке 4 видно, что дробеструйная обработка поверхностей, выполненная на одном из петербургских заводов мостовых конструкций, имеет коэффициент трения на 15% ниже установленного норматива ($K_{тр} = 0,49$). После удаления съемного покрытия мы видим неизменившуюся величину коэффициента трения, равную $K_{тр} = 0,5$, что вполне приемлемо для практического применения.

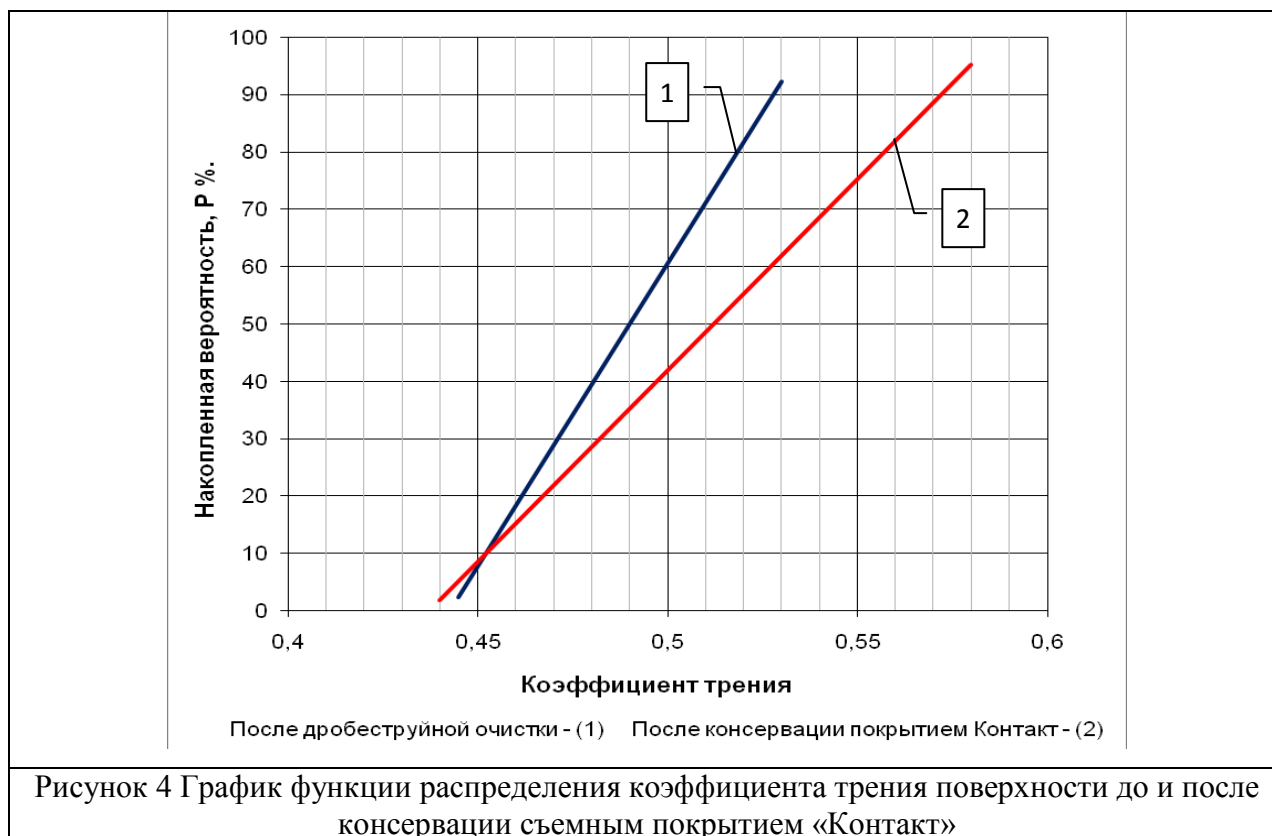


Рисунок 4 График функции распределения коэффициента трения поверхности до и после консервации съёмным покрытием «Контакт»

Оба направления использования консервационных материалов на контактных поверхностях являются перспективными, несмотря на необходимость снижения нормативного значения коэффициента трения до $K_{тр} = 0,5$. Как было показано ранее, увеличения количества высокопрочных болтов в соединении можно избежать, перейдя на болты М24, а при использовании болтов М27, их количество окажется меньше. Графики на рисунке 5 позволяют убедиться, что при снижении коэффициента трения поверхности с 0,58 до 0,5 замена болтов М22 на равное количество болтов М24 обеспечивает ту же несущую способность одного болтоконтакта и всего соединения в целом. А при замене болтов М22 на болты М27 достигается уменьшение количества болтов на 27,5%.

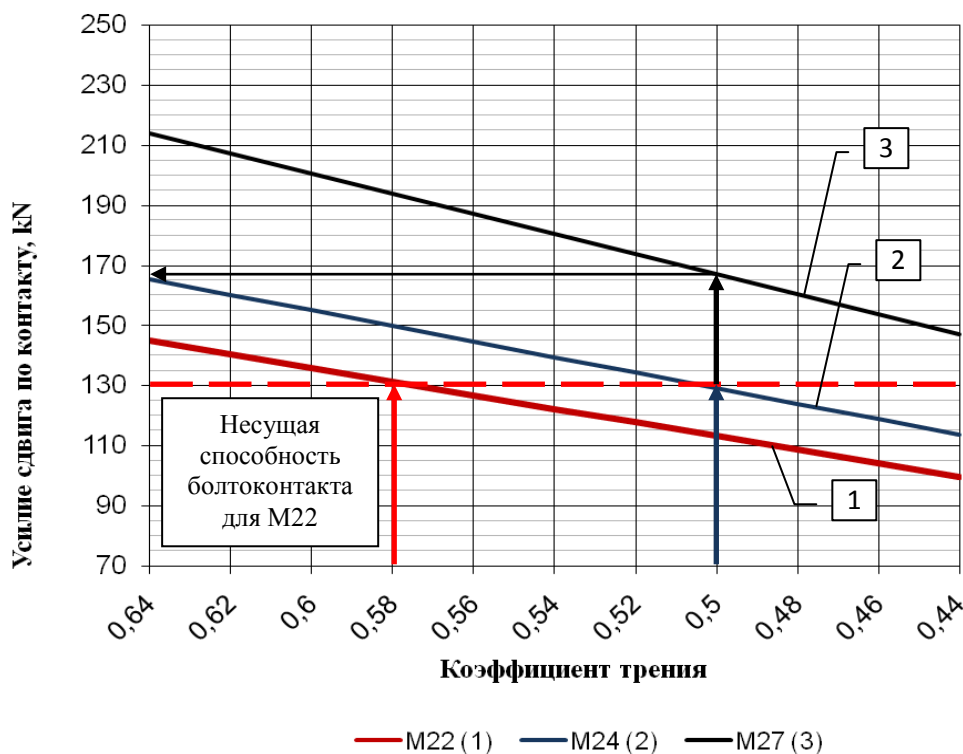


Рисунок 5 Зависимость несущей способности болтоконтакта от диаметра болта и от коэффициента трения контактной поверхности

Металлоемкость при замене болтокомплектов М22 на больший диаметр несколько увеличиться. Причем при переходе на болты М27 с учетом уменьшения болтов в соединении, увеличение веса болтов возрастет на 15 – 16%, а для болтов М24 – на 35 – 36%.

Окраска мостовых конструкций на заводе несколькими слоями лакокрасочных материалов уже стала привычной. Качество лакокрасочного покрытия повысилось, а объем окрасочных работ на строительной площадке значительно снизился. Последней незащищенной на заводе поверхностью остается наружная, «нерабочая» поверхность стыковых накладок. Грунтование этих поверхностей на заводе в сочетании с консервацией контактных поверхностей позволит обеспечить защиту 100% всей площади металла элементов. Из полуфабриката стыковая накладка превращается в изделие, не требующее абразивоструйную очистку перед финишной окраской пролетного строения.

Этим будет сделан завершающий штрих в технологии комплексной защиты металлоконструкций. Заводская защита каждой детали болтового соединения от коррозии вытесняет трудоемкие и зачастую некачественно выполняемые на строительной площадке операции подготовки крепежа и поверхностей для сборки и окрашивания. Это и будет

являться результатом суммы технологий, призванных сделать монтаж металлоконструкций действительно индустриальным производством.

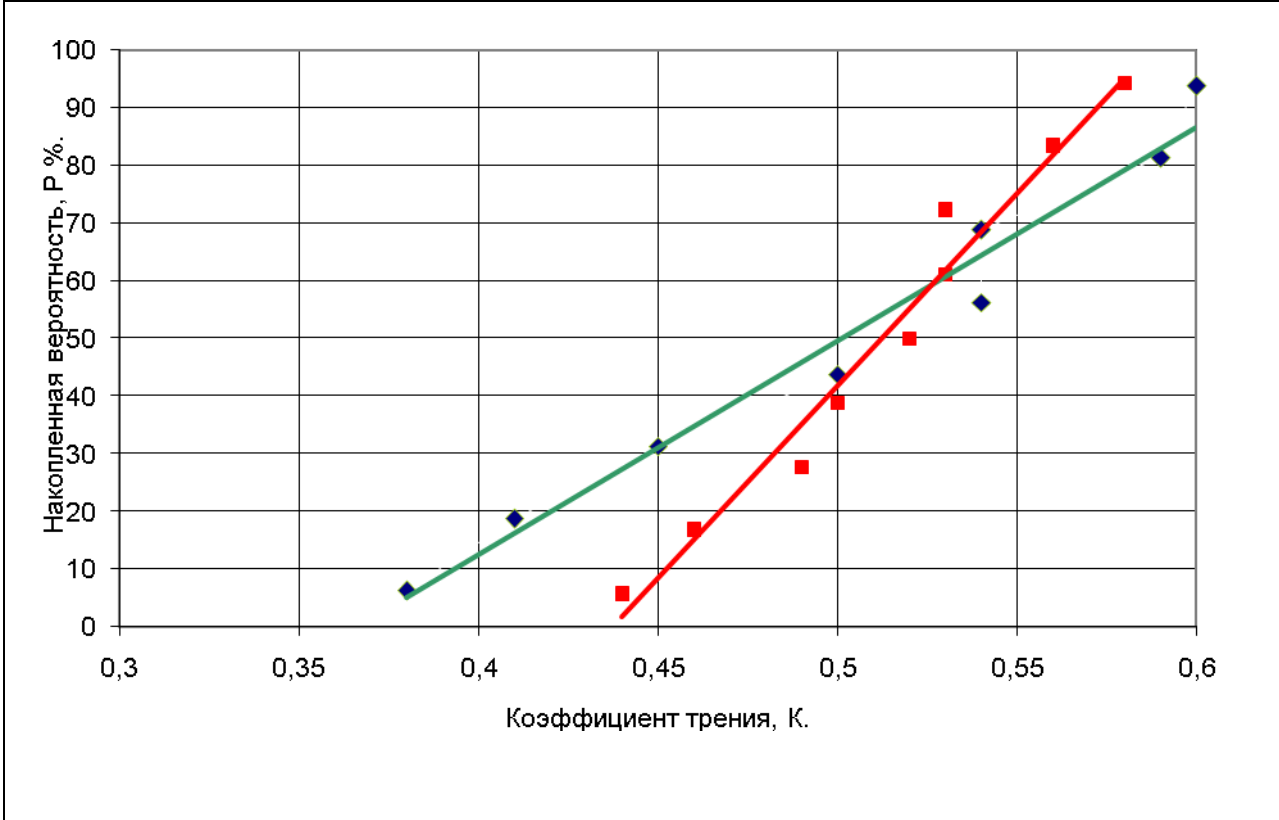


Рисунок 5

Зеленая линия испытания через 7 дней после нанесения покрытия.

Красная линия, испытания после климатических испытаний нанесенного покрытия.