

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-437-454

ASSESSING THE POSSIBILITY OF CHANGING THE MONITORING FREQUENCY OF THE RESIDUAL THICKNESSES OF THE NAVIGATION LOCKS GATES ELEMENTS

N. M. Ksenofontov¹, V. N. Loshak²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Volgo-Balt Administration, St. Petersburg, Russian Federation

One of the main methods for monitoring the technical condition of the navigation locks gates is to determine the amount of corrosion wear of their elements using ultrasonic thickness measurement. This diagnostic operation is performed at least once every five years. In accordance with the methodology, the control requires the removal of the protective coating in the measurement area. At the same time, there is no possibility of a full restoration of the coating. The specified frequency of measurements is adopted based on the peculiarities of the maintenance of locks and the durability of protective coatings, the service life of which does not exceed 5 years. It is noted that recently, the cases of measurements with a satisfactory technical condition of the protective coating on the elements of the structures, which are being examined, have been more frequent. This circumstance indicates an increase in the service life of protective coatings and, consequently, the possibility of revising the established frequency of measurements of the residual thickness of the gates elements. In this regard, the purpose of the study is to assess the possibility of changing the timing of ultrasonic thickness measurement during primary and periodic measurements of the residual thicknesses of the gate elements, taking into account the state of the protective coating. To achieve this goal, the collection and analysis of the range of protective coatings used in the anticorrosion protection of the main and emergency repair gates of navigation locks, their service life, as well as permissible deviations in thickness for the supplied rolled metal, are carried out. It has been established that epoxy-based protective coatings are most often used as primer and top coats. The thickness of the applied coatings has increased by 2–3 times and averages 200–350 μm. Damage to coatings in the period from 5 to 10 years of operation averages about 6 % of the total surface area. In the course of the study, it has been also found that the permissible minus limit values for deviations in the thickness of the supplied rolled products can range from 0.8 to 4.2 mm, depending on the thickness of the sheet and the accuracy of its manufacture. The presence of such deviations has a particularly negative effect on the resource of small thicknesses. Additionally, the maximum average value of the corrosion rate of metal structure elements in operation is determined. The totality of the information obtained makes it possible to develop recommendations for changing the timing of the residual thicknesses measurement, ensuring the safe operation of the considered elements of mechanical equipment.

Keywords: navigation lock, gate, engineering status, protective coating, anti-corrosive protection, metal corrosion, ultrasonic thickness measurement, inspection period.

For citation:

Ksenofontov, Nikolay M., and Vitaliy N. Loshak. "Assessing the possibility of changing the monitoring frequency of the residual thicknesses of the navigation locks gates elements." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 437–454. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-437-454.

УДК 626.44; 626.45

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ ТОЛЩИН ЭЛЕМЕНТОВ ВОРОТ И ЗАТВОРОВ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Н. М. Ксенофонтов¹, В. Н. Лошак²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФБУ «Администрация «Волго-Балт», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой исследования является один из основных методов контроля технического состояния ворот и затворов судоходных шлюзов, такой как определение величины коррозионного износа их элементов

с помощью ультразвуковой толщинометрии. Данная диагностическая операция выполняется не реже одного раза в пять лет. В соответствии с методикой для проведения контроля требуется удаление защитного покрытия на участке измерений. При этом возможность полноценного восстановления покрытия отсутствует. Указанная периодичность измерений принята исходя из особенностей технического обслуживания шлюзов и стойкости защитных покрытий, срок службы которых не превышал 5 лет. Отмечается, что в последнее время участились случаи проведения измерений при удовлетворительном техническом состоянии защитного покрытия на элементах обследуемых конструкций. Данное обстоятельство свидетельствует об увеличении срока службы защитных покрытий и, следовательно, возможности пересмотра установленной периодичности измерений остаточной толщины элементов ворот и затворов. В связи с этим целью исследования является оценка возможности изменения сроков проведения ультразвуковой толщинометрии при первичных и периодических измерениях остаточных толщин элементов ворот и затворов с учетом состояния защитного покрытия. Для решения поставленной цели выполнен сбор и анализ номенклатуры защитных составов, применяемых при противокоррозионной защите основных и аварийно-ремонтных ворот шлюзов, сроках их службы, а также допустимых отклонений по толщине для поставляемого металлопроката. Установлено, что чаще всего в качестве грунтового и покрывного слоев используются защитные составы на эпоксидной основе. При этом толщина наносимых покрытий увеличилась в 2–3 раза и составляет в среднем 200–350 мкм. Повреждаемость покрытий в период от 5 до 10 лет эксплуатации в среднем составляет ~ 6 % от общей площади поверхности. В ходе исследования также установлено, что допустимые минусовые предельные значения отклонений толщины поставляемого проката могут составлять 0,8–4,2 мм в зависимости от толщины листа и точности его изготовления. Наличие подобных отклонений особенно негативно сказывается на ресурсе малых толщин. Дополнительно определено максимальное среднее значение скорости коррозии элементов металлоконструкций, находящихся в эксплуатации. Совокупность полученных сведений позволила разработать рекомендации по изменению сроков измерения остаточных толщин, обеспечивающих безопасную эксплуатацию рассматриваемых элементов механического оборудования.

Ключевые слова: судоходный шлюз, ворота, затвор, техническое состояние, защитное покрытие, противокоррозионная защита, коррозия металла, ультразвуковая толщинометрия, периодичность контроля.

Для цитирования:

Ксенофонтов Н. М. Оценка возможности изменения периодичности контроля остаточных толщин элементов ворот и затворов судоходных шлюзов / Н. М. Ксенофонтов, В. Н. Лошак // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 437–454. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-437-454.

Введение (Introduction)

Одной из основных диагностических операций при контроле технического состояния металлоконструкций ворот и затворов судоходных шлюзов на этапе эксплуатации является измерение остаточной толщины их элементов. Данная контрольная операция выполняется для оценки величины коррозионного повреждения (износа), а также определения динамики данного процесса. Результаты контроля используются как для определения текущего состояния контролируемой металлоконструкции, так и прогнозирования ее остаточного ресурса.

В качестве средства измерения повсеместно применяются эхо-импульсные ультразвуковые толщинометры с совмещенными и раздельно-совмещенными преобразователями, принцип действия которых основан на однократном отражении зондирующего импульса. Для обеспечения ввода ультразвуковых колебаний в объект контроля необходима подготовка поверхности, в частности, удаление защитного покрытия (ЗП) на локальном контролируемом участке элемента. Количество и площадь таких участков отраслевыми нормативными документами не нормируются и определяются экспертным методом в зависимости от продолжительности и условий эксплуатации, а также технического состояния диагностируемой металлоконструкции на момент проведения обследования. При этом, как правило, отсутствует возможность полноценного восстановления ЗП на контролируемых участках после завершения работ по проведению измерений остаточной толщины.

В соответствии с отраслевыми нормами¹ в условиях нормальной эксплуатации данные контрольные операции выполняются один раз в 5 лет независимо от состояния проверяемой металлоконструкции. Однако в ряде случаев на момент проведения контроля нанесенное на металлокон-

¹ МУ 050.025–2001. Определение технического состояния металлоконструкций ворот и затворов СГТС : метод. указания. М.: ФГУП ЦНТИМТ РФ, 2002. 86 с.

струкцию ЗП не имеет существенных повреждений, что свидетельствует об отсутствии или довольно низкой динамике коррозионного процесса. Следует также отметить, что, по имеющейся информации, срок службы современных применяемых защитных составов достигает десять лет и более, что в два раза выше ранее существующего. Данное обстоятельство ставит под сомнение необходимость обязательного проведения измерения остаточной толщины элементов эксплуатируемых металлоконструкций с установленной периодичностью.

Выполненный анализ технической литературы и научных публикаций показал, что данный аспект в рамках технического диагностирования ранее не рассматривался. Например, в работах [1]–[5] приведены основные сведения и результаты исследований о коррозии металла и способах противокоррозионной защиты, а в [6]–[11] исследования направлены на повышение точности измерения остаточных толщин, внедрение новых способов контроля, в том числе измерение толщины металла под защитным покрытием.

Целью данного исследования, с учетом стоимости работ по противокоррозионной защите (ПКЗ) металлоконструкций ворот и затворов судовых шлюзов и сроков службы покрытий, является оценка возможности увеличения временного интервала между проверками остаточных толщин элементов для сохранения целостности ЗП и недопущения преждевременного развития коррозионного процесса при условии возможности обеспечения безопасной эксплуатации рассматриваемых элементов механического оборудования судовых шлюзов.

Для достижения поставленной цели необходима реализация следующих задач:

1. Анализ применяемых защитных покрытий при противокоррозионной защите ворот и затворов судовых шлюзов.
2. Анализ материалов, применяемых для изготовления основных элементов металлоконструкций ворот и затворов судовых шлюзов.
3. Определение максимальной усредненной величины скорости коррозии элементов рассматриваемых металлоконструкций с учетом результатов выполненных наблюдений и исследований.
4. Разработка предложений по изменению периодичности измерений остаточной толщины металла элементов эксплуатируемых ворот и затворов судовых шлюзов с помощью ультразвуковой толщинометрии.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В отличие от многих металлических конструкций, эксплуатируемых в различных отраслях промышленности, элементы ворот и затворов судовых шлюзов, а также некоторых других гидротехнических сооружений могут контактировать с коррозионной средой, прежде всего пресной водой, с двух сторон. При этом одна часть элементов конструкции может находиться постоянно под водой (подводная коррозия), другая — в зоне переменного уровня (периодически смачиваемая поверхность) или только в воздушной среде (атмосферная коррозия) — рис. 1 и 2. Указанная особенность эксплуатации рассматриваемых конструкций свидетельствует о возможности ускоренного коррозионного износа отдельных (локальных) участков конструкции или элементов и, соответственно, сокращения срока ее эксплуатации. Примеры коррозионных повреждений элементов ворот и затворов представлены на рис. 3 и 4 [12]–[14]. Приведенные снимки свидетельствуют о необходимости тщательной и своевременной противокоррозионной защиты данных элементов механического оборудования шлюзов.

Основные требования по выбору защитного покрытия, подготовке поверхности и его нанесению регламентированы сводом правил СП 28.13330.2017¹. Согласно приведенной в нем классификации, нанесение ЗП, в том числе на металлоконструкции судовых шлюзов, является одной из мер их изоляции от агрессивного воздействия коррозионной среды (атмосфера, пресная вода) и относится к методу вторичной защиты. До утверждения указанного свода правил основным нормативным документом в области гидротехнического строительства в части противокоррозионной защиты являлся руководящий документ РД ГМ-01–02². В настоящее время для вновь проектируемых

¹ СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии: Утв. 2017-02-27. Введ. 2017-08-28.

² РД ГМ-01–02. Руководящий документ по защите от коррозии механического оборудования и специальных стальных конструкций гидротехнических сооружений: Утв. 2002-03-21.

и реконструируемых металлоконструкций судоходных гидротехнических сооружений данный документ может рассматриваться только в качестве рекомендательного.

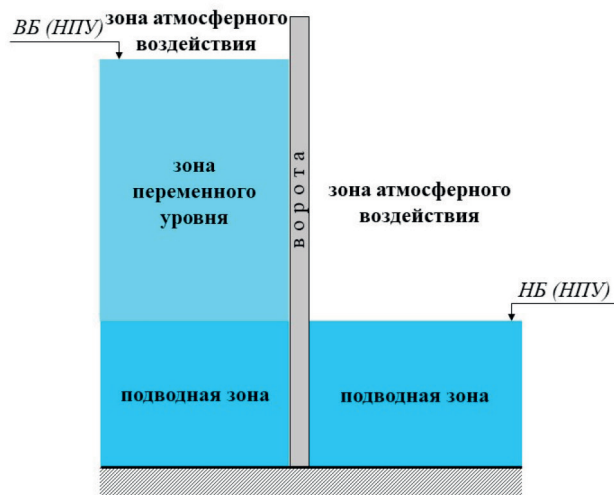


Рис. 1. Схема зонирования воздействия коррозионной среды на металлоконструкцию шлюзов на примере нижних основных двустворчатых ворот

а)



б)

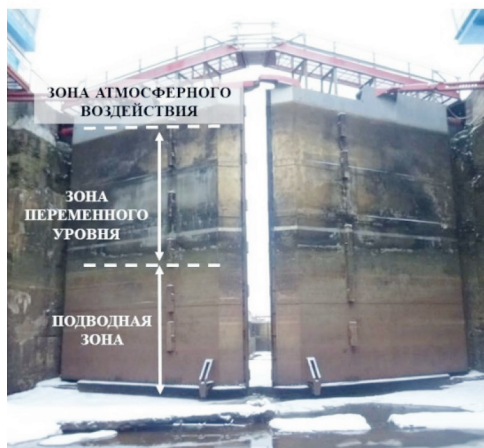


Рис. 2. Зонирование воздействия коррозионной среды на примере эксплуатируемых двустворчатых ворот с безнапорной (а) и напорной (б) сторон

а)



б)



Рис. 3. Примеры язвенной коррозии на элементах ворот (а) и затворах (б) судоходных шлюзов



Рис. 4. Сквозная коррозия
в силовом элементе затвора

Изначально при ПКЗ металлоконструкций ворот и затворов шлюзов в качестве ЗП применялись битумные материалы, представляющие собой растворы битумов, каменноугольного пека в органических растворах — ксилоле, сольвенте или уайт-спирите (Кузбасслак), лак БТ № 177, краска АЛ-177 и др.) [15], [16]. Срок службы таких покрытий был весьма непродолжителен и составлял один-два года в условиях эксплуатации металлоконструкций в атмосфере, три-четыре месяца при эксплуатации в погруженном состоянии и три-шесть месяцев в зоне переменного уровня (вода / атмосфера).

Отказ от битумных покрытий в 1960–70-е гг. и переход на модифицированные алкидные лакокрасочные материалы позволили увеличить срок между возобновлением защитного покрытия до 5–7 лет в зависимости от условий эксплуатации. Отличие зарубежной практики противокоррозионной защиты в указанный период времени заключается в нанесении в некоторых случаях разных видов покрытий на одну металлоконструкцию. Например, двустворчатые ворота, эксплуатируемые в 1950–70-х гг. на Морском пути Святого Лаврентия, были окрашены двумя составами: виниловым покрытием (на основе сополимера винилхлорида с винилацетатом) на открытых элементах, непосредственно контактирующих с коррозионной средой, и эпоксидно-каменноугольной эмалью на элементах, расположенных в воздушных, герметичных отсеках створок [17]. На рис. 5 показано состояние покрытия на данных металлоконструкциях после 40 лет эксплуатации.

а)



б)



Рис. 5. Примеры состояния защитного покрытия на элементах двустворчатых ворот на одном из шлюзов, расположенном на Морском пути Святого Лаврентия после 40 лет эксплуатации:
а — виниловое покрытие; б — эпоксидно-каменноугольная эмаль

Следует отметить, что толщина нанесенных покрытий на элементы указанных конструкций составляла 200–700 мкм, тогда как на воротах и затворах, эксплуатируемых на внутренних водных путях СССР и РФ (до недавнего времени), она находилась, как правило, в диапазоне 80–150 мкм.

С учетом наличия на рынке РФ широкой номенклатуры ЗП, декларируемый срок службы которых составляет 10 лет и более, представляется целесообразным выполнить анализ составов, применяемых в настоящее время при противокоррозионной защите металлоконструкций ворот и затворов СГТС. Решение данной задачи заключается в сборе информации от эксплуатирующих организаций о нанесенных покрытиях на металлоконструкции основных и аварийно-ремонтных ворот за последние несколько лет, а также выполнении анализа проектной документации в этой части на строящемся Багаевском гидроузле и реконструируемом Городецком гидроузле со строительством дополнительной шлюзовой камеры 15А. Кроме анализа номенклатуры применяемых типов защитных покрытий необходимо установить диапазоны толщин наносимых покрытий и их состояния в зависимости от их срока службы. Результаты данного анализа позволят определить возможность корректировки сроков периодического контроля остаточных толщин элементов.

Помимо агрессивности коррозионной среды, наличия и состояния ЗП динамика рассматриваемого деструктивного процесса также зависит от коррозионной стойкости применяемого основного материала — марки стали. В связи с этим требуется сбор и анализ сведений о марках сталей, используемых для изготовления металлоконструкций ворот и затворов. Указанная задача решается с помощью анализа проектной и технической документации, результатов наблюдений и исследований, деклараций безопасности, а также технической литературы и научных публикаций в данной области. На продолжительность эксплуатации ворот и затворов оказывает возможное влияние наличие отклонений построечной толщины их элементов от ее проектных значений.

Для металлоконструкций, устанавливаемых в 1960–80-е гг. характерным являлось наличие поставляемого проката, имеющего плюсовое отклонение по толщине, что, как следствие, несколько увеличивало ресурс металлоконструкций. Исходя из имеющихся данных первичных оценок технического состояния вновь изготовленных ворот и затворов следует, что намечается тенденция поставки металлопроката, имеющего минусовое отклонение по толщине. Указанное обстоятельство свидетельствует о необходимости оценки регламентированных допускаемых предельных минусовых отклонений толщины поставляемого проката, величина которых может быть установлена путем анализа требований нормативных документов.

При оценке технического состояния ворот и затворов срок их возможной безопасной эксплуатации по процессу коррозии устанавливается в соответствии с основными силовыми элементами, имеющими наименьший остаточный ресурс. Величина ресурса определяется с учетом зафиксированных (измеренных) фактических значений остаточных толщин и динамики коррозионного процесса.

При постепенном утонении элементов их расчетный допустимый остаточный срок службы определяется по формуле, приведенной в МУ 050.025–2001:

$$T_d = \frac{1}{K_8} \frac{P_{пдз} P_i}{v_n}, \quad (1)$$

где K_8 — коэффициент, учитывающий погрешность измерения контролируемого параметра и скорости его изменения во времени и выбираемый в зависимости от принадлежности металлоконструкции к одной из трех групп по степени последствий их вероятного отказа;

$P_{пдз}$ — предельно допустимое значение остаточной толщины элемента;

P_i — текущее значение остаточной толщины элемента, установленное при обследовании, а в случае первичной оценки технического состояния, его проектное значение;

v_n — скорость коррозии в течение рассматриваемого интервала времени.

В рамках решения поставленной научной задачи представляется целесообразным использование формулы (1) для аналитической оценки возможности изменения сроков проведения первичного контроля остаточных толщин. При решении данной задачи величина K_8 принималась в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Обобщенная характеристика регламентированного группирования ворот и затворов шлюзов в зависимости от последствий потенциального отказа

Группа	Последствия потенциального отказа	Наименование металлоконструкций	Значения K_o	Сроки проведения оценки технического состояния		
				первичная	периодическая	экспертная *
А	Разрушение напорного фронта	Аварийные, аварийно-ремонтные и аварийно-эксплуатационные ворота, верхние ремонтные заграждения, основные эксплуатационные ворота при отсутствии аварийных ворот на верхней голове	1,50	После 5 лет эксплуатации	Не реже 1 раза в 5 лет	После 30 лет эксплуатации
Б	Длительное прекращение судоходства / возможность человеческих жертв	Основные эксплуатационные ворота (при наличии аварийных ворот на верхней голове), нижние ремонтные заграждения	1,35	После 5 лет эксплуатации	Не реже 1 раза в 5 лет	После 35 лет эксплуатации
В	Кратковременная задержка судоходства / увеличение времени шлюзования	Затворы водопроводных галерей	1,20	После 5 лет эксплуатации	Не реже 1 раза в 5 лет	После 40 лет эксплуатации

*Помимо указанных сроков экспертная оценка технического состояния ворот и затворов выполняется при превышении срока их эксплуатации, указанного в проектной документации (при его наличии), при достижении предельного состояния одного или нескольких силовых элементов, а также при значительном увеличении скорости деструктивных процессов.

В качестве допустимой остаточной толщины элемента принимается значение, равное установленной проектной толщине с учетом 15 % износа в соответствии с требованиями МУ 050.025–2001. Величина P_i принимается, в первом случае равной принятому проектному значению толщины, во втором — проектному значению толщины с учетом предельного минусового значения проката. Скорость коррозии определяется в соответствии с формулой

$$v_{\Pi} = \frac{|P_i - P_{i-1}|}{t}, \quad (2)$$

где P_{i-1} — значение остаточной толщины элемента, установленное в результате предыдущего обследования;

t — интервал времени между проверками, годы.

В качестве P_{i-1} в рамках настоящего исследования принимается минимальная средняя остаточная толщина наиболее изношенного силового элемента, значение которой установлено в ходе натурных наблюдений. За интервал времени принимается срок эксплуатации металлоконструкции на момент проведения обследования. В качестве источников информации использованы результаты наблюдений и исследований, представленные в научно-исследовательских работах, технических отчетах и протоколах по контролю и оценке технического состояния ворот и затворов шлюзов, в том числе работы [12]–[14], [18]–[20].

Результаты (Results)

В процессе анализа предоставленной от эксплуатирующих организаций информации было установлено, что в период 2011–2021 гг. противокоррозионная защита была выполнена на 163 металлоконструкциях основных и аварийно-ремонтных ворот. В подавляющем большинстве случаев в качестве грунтового и покрывного (пленкообразующего) слоев применялись эпоксидные составы, реже — полиуретановые (рис. 6). Другие типы покрытий были использованы в единичных случаях.

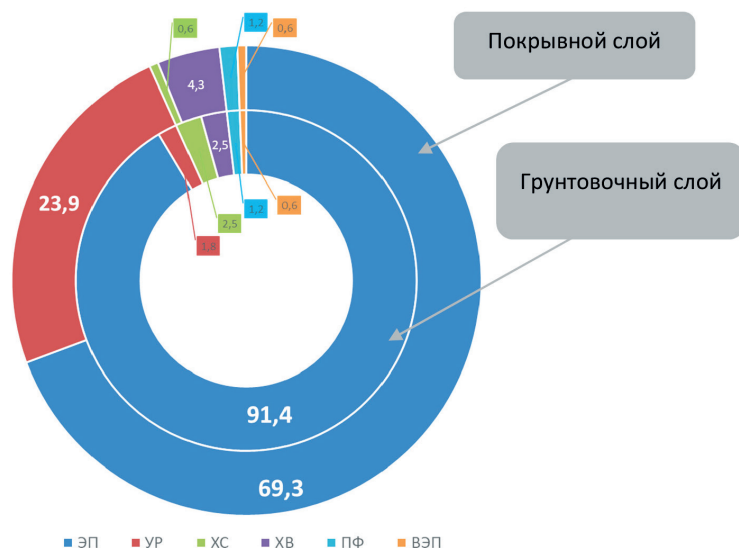


Рис. 6. Процентное соотношение типов защитных покрытий, использованных при противокоррозионной защите металлоконструкций основных и аварийно-ремонтных ворот в 2011–2021 гг.

Условные обозначения:

ЭП — эпоксидное; УР — полиуретановое;
ХС — сополимерно-винилхлоридное; ПХВ — перхлорвиниловое,
АПФ — алкидное пентафталеовое; ВЭП — винилово-эпоксидное

Декларируемая толщина нанесенных ЗП за рассматриваемый период времени неодинакова и варьируется от 80 до 400 мкм (в среднем 200–350 мкм) — рис. 7. В большинстве случаев толщина нанесенных

покрытий больше рекомендованных значений, приведенных в методических указаниях МУ 050.025–2001 (120 мкм для металлоконструкций, работающих в пресной воде, и 80 мкм для конструкций, эксплуатируемых в открытой атмосфере). При этом на некоторых металлоконструкциях она ниже значений, установленных сводом правил СП 28.13330.2017 — 220 мкм для среднеагрессивной и 300–500 мкм для сильноагрессивной коррозионных сред. Следует отметить, что степень агрессивности среды (воды), в соответствии с данным сводом правил, должна определяться путем измерения уровня водородного показателя pH и суммарной концентрации сульфатов и хлоридов в воде. Однако при выполнении анализа проектной документации на реконструкцию и капитальный ремонт ворот и затворов СГТС наличие сведений о результатах проведения требуемого химического анализа не установлено.

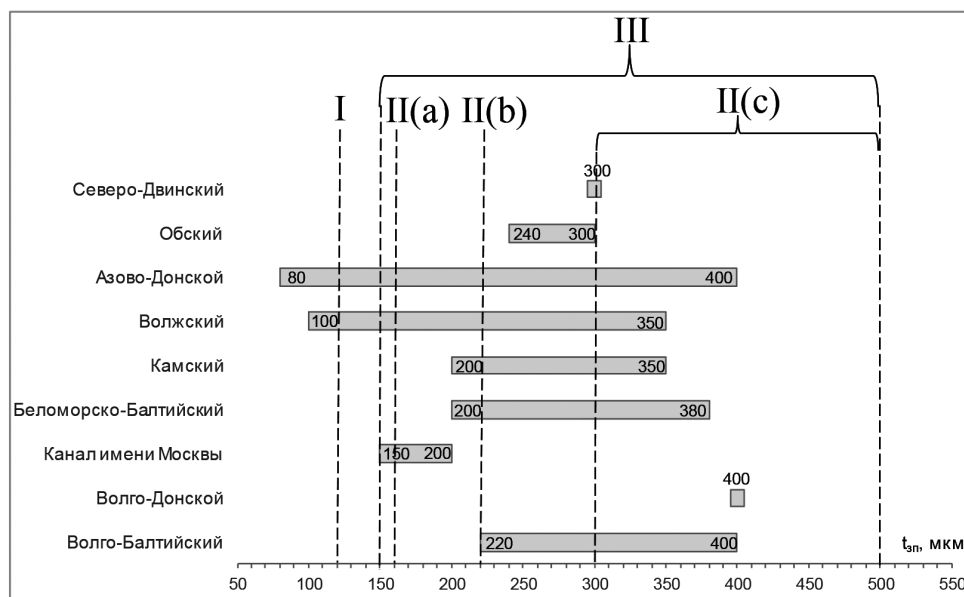


Рис. 7. Сведения о проектных значениях толщины защитных покрытий, применяемых при ПКЗ ворот и затворов шлюзов
Администраций бассейнов внутренних водных путей и ФГБУ «Канал имени Москвы»
Условные обозначения:

- I* — требуемая толщина ЗП в соответствии с МУ 050.025–2001;
II — требуемая толщина ЗП в соответствии с СП 28.13330.2017
(*a* — слабоагрессивная среда, *b* — среднеагрессивная среда, *c* — сильноагрессивная среда);
III — требуемая толщина ЗП в соответствии с РД ГМ-01–02

Следует отметить, что в ходе анализа выполненных инструментальных обследований эксплуатируемых в течение длительного времени металлоконструкций фактическая толщина ЗП составляет в среднем 75–200 мкм [12]–[14], [18]–[20] и может изменяться в широком диапазоне значений на одном контролируемом участке.

В процессе анализа проектной документации установлено, что в качестве защитного покрытия металлоконструкций проектируемой дополнительной шлюзовой камеры № 15А Городецкого гидроузла¹ предлагается применять двухкомпонентную тиксотропную эпоксидную грунт-эмаль. Толщина покрытия должна быть ≥ 300 мкм. Для металлоконструкций строящегося Багаевского гидроузла² тип применяемого покрытия и его требуемая толщина не указаны. Данный вопрос будет решаться на стадии разработки рабочей документации.

¹ Реконструкция судоходных шлюзов 15, 16 Городецкого гидроузла, включая строительство дополнительной камеры шлюза и создание судоходного канала от г. Городец до г. Н. Новгород. 2-й этап — проект. док. Разд. 4: Конструктивные и объемно-планировочные решения. Кн. 4.1: Реконструкция шлюзов № 15–16. Механическое оборудование дополнительной камеры шлюза № 15а. Механическое оборудование 2993-ПИР-П-2-КР2.4.1. Т. 4.2.4.1. СПб: АО «Ленгипроречтранс», 2022.

² «Строительство Багаевского гидроузла на р. Дон». Объекты 2-го этапа (осн. периода). Проект. док. Разд. 4: Конструктивные и объемно-планировочные решения. Судоходный шлюз. Рабочие двусторчатые ворота. 03-16-ОК-2-КР-СШ-МО.2. Т. 4.5.2. М.: АО «Акватик», 2018.

В дополнение к ранее изложенному следует отметить, что срок службы покрытий также неодинаков и может варьироваться в зависимости от соблюдения требований при проведении ПКЗ и условий эксплуатации металлоконструкций. Согласно сведениям, представленным в РД ГМ-01-02, он декларативно находится для рассматриваемых условий эксплуатации в диапазоне от 5 до 25 лет. В ходе анализа полученных данных о степени повреждений ЗП было установлено, что, как правило, в первые пять лет эксплуатации средняя величина повреждений покрытий в виде отслаивания, шелушения, вздутия и других видов повреждения не превышает 1 % от площади конструкции, но в отдельных случаях значение данного показателя составляет 10–50 %. По всей видимости, данное обстоятельство, прежде всего, обусловлено не столько типом применяемого покрытия и условиями эксплуатации металлоконструкций, сколько соблюдением технологии подготовки поверхности и его нанесения. Степень повреждения покрытий при его продолжительности эксплуатации 5–10 лет в среднем составляет ~ 6 %. Максимальное значение данного показателя составляет 40–50 %.

В качестве основного материала для вновь изготавливаемых металлоконструкций ворот и затворов применяется сталь 09Г2С, которая также активно используется в судостроительной отрасли. До активного внедрения данной марки стали при изготовлении шлюзовых металлоконструкций использовались стали Ст. 3сп и М16С. Также известны единичные случаи изготовления металлоконструкций из сталей Ст. 20 и 10ХСНД. На данный момент более 50 % эксплуатируемых ворот и затворов судоходных шлюзов изготовлены из стали 09Г2С.

В различных источниках, в том числе в исследовании [21], утверждается, что скорость коррозии низколегированных и углеродистых сталей примерно одинакова. Согласно исследованиям [22]–[25], средняя скорость коррозии стали 09Г2С в средне- и сильноагрессивных коррозионных средах составляет 0,2–1,5 мм/год в зависимости от степени воздействия различных факторов при условии отсутствия ЗП. Для стали Ст. 3сп значение данного показателя составляет 0,02–0,4 мм/год. В приведенных исследованиях отмечается также склонность стали 09Г2С к образованию коррозионных язв. Табл. 2 содержит данные о фактической скорости коррозионного процесса на основных силовых элементах ворот и затворов судоходных шлюзов, полученных в ходе натурных наблюдений и исследований.

Исходя из анализа полученных данных, средняя максимальная скорость коррозии элементов ворот и затворов шлюзов примерно одинакова и составляет: для стали 09Г2С 0,07 мм/год, сталей Ст. 3 и М16С — 0,06 мм/год. Приведенные расчетные значения скорости коррозии не превышают допускаемое значение данного параметра 0,1 мм, указанного в МУ 050.025–2001. При этом скорость местной, в том числе язвенной коррозии, в ряде случаев значительно превышает допускаемое значение, равное 0,2 мм, приведенное в том же документе. Отличие значений динамики коррозионного процесса, полученных в ходе лабораторных исследований, от результатов натурных измерений объясняется возобновлением ЗП на эксплуатируемых конструкциях.

Таблица 2

**Сведения о скорости коррозионного процесса
на основных силовых элементах ворот и затворов судоходных шлюзов**

Наименование сооружения	Наименование металлоконструкции	Длительность эксплуатации на момент обследования, годы	Материал основных элементов	Средняя максимальная скорость коррозии, мм/год
Нижне-Камский шлюз	БОВ (ПОВ)	37	М16С	0,06
	АРВ (ПОВ)	37	М16С	0,04
	НОВ (ДВ)	37	М16С	0,06
	Основные затворы опорожнения	40	М16С	0,16
	Верховые ремонтные затворы опорожнения	40	М16С	0,04
	низовые ремонтные затворы опорожнения	40	М16С	0,05

Окончание табл. 2

Шлюзы № 1–9, 11–18 ББК	ВОВ (ДВ)	62–64	Сталь 3	0,04
Шлюз № 1 ББК	НОВ (ДВ)	62	Сталь 3	0,03
Шлюзы № 1, 3, 13 ББК	ОВСГ (ДВ)	61–62	Сталь 3	0,04
Шлюз № 16 ББК	ОВСГ (ДВ)	35	09Г2С	0,04
Шлюз № 8 ББК	АРВ (секторные)	31	М16С	0,07
Шлюз № 14 ББК	АРВ (секторные)	33	М16С	0,11
Павловский шлюз	НОВ (ПОВ)	37	09Г2С	0,08
	Рабочий затвор наполнения	36	Сталь 3	0,03
Нижне-Свирский шлюз	ВОВ (ДВ)	49	М16С	0,04
	НОВ (ДВ)	42	М16С	0,02
	Верховые ремонтные затворы наполнения	87	М16С	0,08
	низовые ремонтные затворы наполнения	87	М16С	0,7
Верхне-Свирский шлюз	НОВ (ДВ)	37	09Г2С	0,07
Самарский шлюз	Основной затвор входного оголовка холостого водосброса	64	Сталь 3	0,05
	ремонтный затвор входного оголовка холостого водосброса	64	Сталь 3	0,19
Шлюзы № 1–6 ВБВП	ВОВ (ПОВ)	59–60	М16С	0,03
	НОВ (ДВ)	8–13	09Г2С	0,07
Шлюз № 30 Волгоградского г/у	ВОВ (ДВ)	57	М16С	0,03
	НОВ (ДВ)	57	М16С	0,04
Новосибирский шлюз	ВОВ (ПОВ)	10	09Г2С	0,08

Примечания: 1. Скорость коррозии рассчитывалась по наиболее поврежденному силовому элементу. 2. ВОВ — верхние основные ворота. 3. АРВ — аварийно-ремонтные ворота. 4. НОВ — нижние основные ворота. 5. ПОВ — подъемно-опускные ворота. 6. ДВ — двустворчатые ворота. 7. ОВСГ — основные ворота средней головы. 8. ББК — Беломорско-Балтийский канал. 9. ВБВП — Волго-Балтийский водный путь.

В ходе анализа допускаемых предельных минусовых значений отклонений толщины проката, регламентированных ГОСТ 19903–2015¹, установлено, что данная величина варьируется от 0,8 до 4,2 мм в зависимости от толщины листа и точности изготовления. Доказательство влияния наличия предельно-допускаемых минусовых отклонений проката на ресурс элементов ворот и затворов приведено на рис. 8, откуда следует, что отклонение проката крайне негативно влияет на ресурс изделий с малой толщиной. Например, для элемента, толщина которого равна 10 мм, отклонение поставляемого проката в меньшую сторону может достигать 8 %, что составляет больше половины от допускаемого значения коррозионного износа, равного 15 %, и вдвое снижает его остаточный ресурс. Следует отметить, что по сравнению с редакцией указанного стандарта от 1974 г. в действующей версии несколько снижена величина плюсовых предельных отклонений толщины проката.

Ввиду того, что минимальная толщина силовых элементов рассматриваемых металлоконструкций, как правило, составляет 10 мм, примем данное значение как лимитирующее. С учетом принятого допущения, на рис. 9 приведены сведения о минимальном ресурсе ворот и затворов шлюзов по процессу коррозии в зависимости от категории контролируемой металлоконструкции при условии неизменности полученной средней скорости коррозионного повреждения.

¹ ГОСТ 19903–2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. М.: Стандартинформ, 2016.

а)



б)

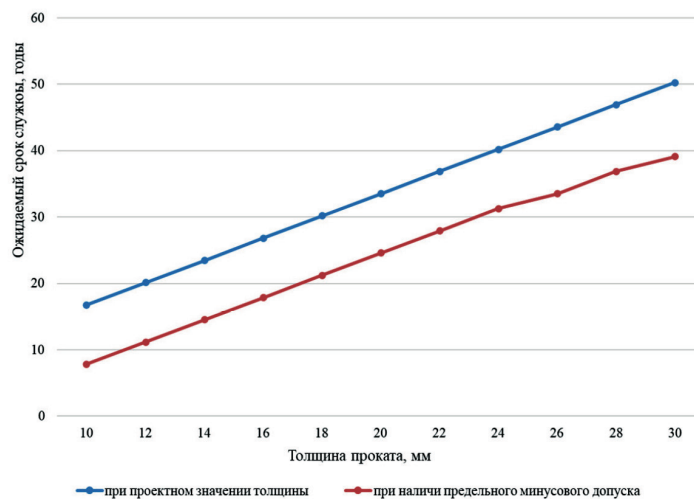


Рис. 8. Влияние наличия отклонения толщины поставляемого проката на ресурс (а) и минусового отклонения толщины поставляемого металлопроката на срок службы элементов ворот и затворов (б)

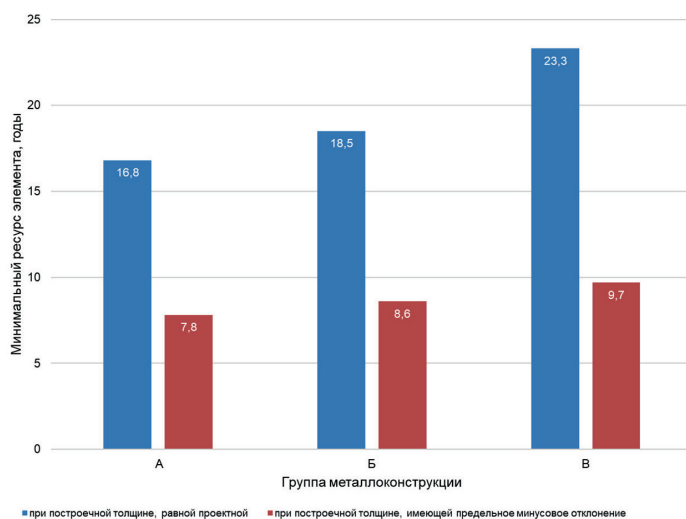


Рис. 9. Минимальный ресурс элементов ворот и затворов судовых шлюзов по процессу коррозионного изнашивания

В результате минимальный ресурс металлоизделий составляет при проектной толщине проката, равной 10 мм, 17–23 года в зависимости от принадлежности к одной из описанных ранее групп металлоконструкций, а при наличии предельных минусовых отклонений — 8–10 лет.

Обсуждение (Discussion)

Полученные в ходе настоящего исследования результаты в целом свидетельствуют об увеличении средней продолжительности срока службы ЗП, что связано с применением современных защитных составов, увеличением толщины покрытия, повышением качества работ по противокоррозионной защите, а также снижением степени агрессивности коррозионной среды из-за уменьшения поступления в реки и каналы промышленных стоков. Однако следует учесть, что приведенные в настоящей работе результаты оценки состояния защитного покрытия элементов обследуемой металлоконструкции, в частности площадь его повреждения, являются достаточно субъективными, так как оцениваются только визуально и, соответственно, напрямую зависят от квалификации специалистов, выполнявших осмотр. Также на ряде сооружений практикуется локальное восстановление покрытия на поврежденных участках собственными силами в рамках текущего ремонта. С учетом ранее изложенного, приведенные в настоящей работе данные по степени повреждения ЗП, полученные от эксплуатирующих организаций, можно рассматривать только как приблизительные.

Согласно полученным данным о средней максимальной скорости коррозии, минимальный срок безопасной эксплуатации металлоконструкций ворот и затворов варьирует от 8 до 25 лет. Следует отметить, что скорость коррозионного повреждения в настоящем исследовании для упрощения принята как стабильная величина на всем сроке службы металлоконструкции. В реальных условиях она, как правило, является монотонно-возрастающей величиной (рис. 10) [6]. Тем не менее с учетом имеющихся неопределенностей в виде агрессивности среды, длительности контакта металла с агрессивной средой, качества и стойкости нанесенных покрытий, а также ряда других факторов первичное измерение остаточных толщин целесообразно проводить не позднее, чем через 10 лет для групп А и Б и 15 лет для группы В с момента ввода в эксплуатацию. При этом, в случае наличия только локального повреждения ЗП (до 15–20 % от площади конструкции), можно ограничиться проведением контроля только на этих участках.

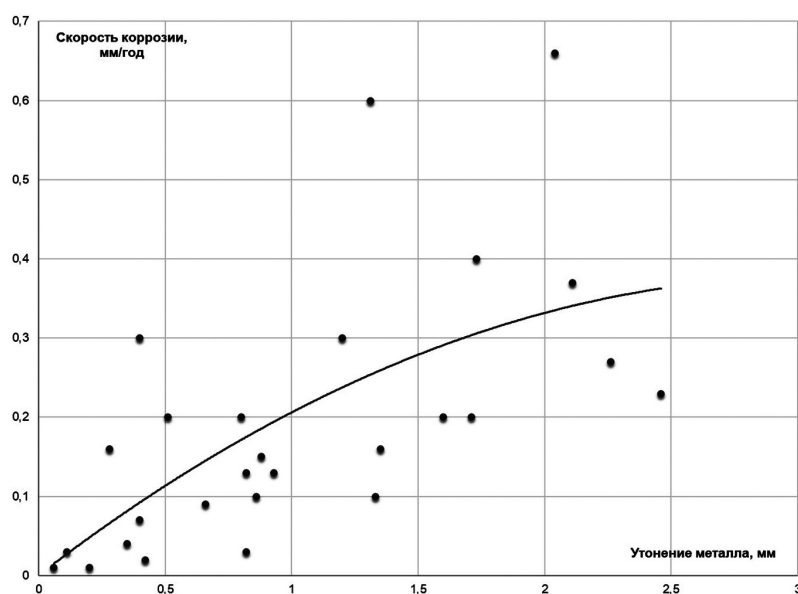


Рис. 10. Зависимость скорости развития коррозии от степени повреждения поверхности элементов ворот и затворов шлюзов

Необходимо отметить, что для металлоконструкций затворов, эксплуатируемых на объектах гидроэнергетики, срок проведения первичных измерений остаточной толщины с помощью

ультразвуковой толщинометрии составляет 25 лет с момента ввода конструкции в эксплуатацию¹. Представляется, что указанный срок является не совсем корректным и не учитывает степень ответственности контролируемых конструкций и особенностей их эксплуатации.

Выполнение последующих периодических измерений остаточной толщины рекомендуется выполнять один раз в 5 лет в соответствии с требованиями МУ 050.025–2001. При этом указанный срок может быть увеличен в зависимости от состояния защитного покрытия. Однако в этом случае периодичность контроля не должна превышать:

- один раз в 7 лет — решение принимается эксплуатирующей организацией;
- один раз в 10 лет — решение принимается эксплуатирующей организацией с привлечением научной и / или проектной организации.

Указанная возможность определяется с учетом следующих факторов:

- состояние защитного покрытия (решение принимается на основании визуального и измерительного контроля, оформленного в виде акта или протокола с фотофиксацией состояния покрытия на элементах металлоконструкции);
- степень коррозионного повреждения основного металла (результаты текущего и предшествующих визуальных осмотров);
- анализ информации о скорости коррозионного процесса, установленного при предыдущих измерениях.

Решение о переносе срока измерения остаточной толщины должно быть оформлено в виде распоряжения / приказа, содержащего в качестве приложения копии протокола визуального осмотра металлоконструкции, протокола оценки состояния защитного покрытия, а также заключения научной и / или проектной организации (при их привлечении). Также данный вид контроля в полном объеме целесообразно выполнять непосредственно перед восстановлением защитного покрытия элементов.

При проведении экспертной оценки технического состояния металлоконструкций ворот и затворов, в соответствии с требованиями методических указаний, решение о необходимости измерения остаточных толщин, сопровождающееся локальным удалением ЗП (зачистка точек контроля), принимается руководителем работ (экспертной комиссией) организации-исполнителя по согласованию с эксплуатирующей организацией.

Помимо приведенных рекомендаций представляется необходимым проведение входного контроля вновь изготовленных металлоконструкций для определения фактических толщин их элементов с целью определения наличия отклонений металла от проектных значений. Предлагаемые изменения по периодичности контроля остаточной толщины металла позволят повысить целенаправленность диагностических операций, предотвратить преждевременное разрушение защитного покрытия элементов металлоконструкций ворот и затворов, не снижая при этом уровня безопасности сооружений, на которых они установлены.

Заключение (Conclusion)

Полученные результаты в ходе выполнения настоящего исследования свидетельствуют о возможности обоснованного смещения (в сторону увеличения) сроков первичных измерений остаточной толщины элементов металлоконструкций ворот и затворов судоводных шлюзов, а также увеличения интервалов между измерениями, выполняемыми в рамках периодической оценки технического состояния. Данные результаты базируются на состоянии защитного покрытия диагностируемой конструкции, скорости коррозионного процесса, а также на возможном наличии отклонений от проектных значений. Выполнение приведенных рекомендаций позволит сохранить целостность защитного покрытия, не снижая при этом уровень безопасности рассматриваемых элементов механического оборудования.

¹ СТО 17330282.27.140.017–2008. Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Введ. 2008-07-30.

Помимо предложений по изменению сроков и периодичности измерения остаточных толщин, изложенных в настоящей работе, представляется целесообразным рассмотреть вопрос использования методов и средств измерений для контроля толщины элементов эксплуатируемых металлоконструкций ворот и затворов через защитное покрытие.

Анализ отраслевых нормативных документов в области оценки технического состояния металлоконструкций ворот и затворов шлюзов свидетельствует также о необходимости разработки методики контроля остаточных толщин их элементов, в том числе с учетом результатов настоящего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коррозия. Справочник / Под ред. Л. Л. Шпраера / Пер. В. С. Синявского. — М.: Металлургия, 1981. — 632 с.
2. Вернигорова В. Н. Коррозия строительных материалов: монография / В. Н. Вернигорова [и др.]. — М.: Издательство «Палеотип», 2007. — 176 с.
3. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справ. в 2 т. / Под ред. А. А. Герасименко. — М: Машиностроение, 1987. — Т. 2. — 784 с.
4. Калиновская В. А. Коррозия металлов. Методы по защите металлов от корродирования / В. А. Калиновская, Д. Д. Огурцова // Наука. Техника. Технологии (Политехнический Вестник). — 2022. — № 1. — С. 124–128.
5. Zhang Z. Life evaluation of organic coatings on hydraulic metal structures / Z. Zhang, J. Wu, X. Zhao, Y. Zhang, Y. Wu, T. Su, H. Deng // Progress in Organic Coatings. — 2020 — Vol. 148. — Pp. 105848. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105848.
6. Кузьмицкий М. Л. Коррозионный износ металлоконструкций ворот и затворов судоходных гидротехнических сооружений и оценка их остаточного ресурса / М. Л. Кузьмицкий, Н. М. Ксенофонтов // Гидротехническое строительство. — 2016. — № 2. — С. 42–45.
7. Дымкин Г. Я. Еще раз о влиянии шероховатости поверхности изделия на результаты УЗК прямыми ПЭП / Г. Я. Дымкин, В. П. Лохов // В мире неразрушающего контроля. — 2007. — № 1 (35). — С. 25–26.
8. Кузьмин Д. А. Влияние отложений на характер коррозионных процессов и ультразвуковой контроль толщин стенок трубопроводов / Д. А. Кузьмин, В. И. Бараненко // Тяжелое машиностроение. — 2020. — № 4. — С. 20–24.
9. Кузьмицкий М. Л. О достоверности результатов измерений ультразвуковым методом остаточной толщины металла элементов ворот и затворов судоходных шлюзов, находящихся в эксплуатации / М. Л. Кузьмицкий, Н. М. Ксенофонтов // В мире неразрушающего контроля. — 2020. — Т. 23. — № 1. — С. 40–44. DOI: 10.12737/1609-3178-2020-38-42.
10. Булатов А. С. Современные ультразвуковые методы измерения остаточной толщины стенок металлических изделий под защитными покрытиями / А. С. Булатов, В. А. Сясько // В мире неразрушающего контроля. — 2016. — Т. 19. — № 3. — С. 4–8.
11. Gan F. Ultrasonic thickness measurement technique with self-calibration function / F. Gan, L. Min, X. Tao, J. Liao // Insight — Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. — 2018. — Vol. 60. — Is. 11. — Pp. 619–625. DOI: 10.1784/insi.2018.60.11.619.
12. Ксенофонтов Н. М. Проведение экспертной оценки технического состояния основных ворот нижней головы Верхне-Свирского шлюза: тех. отчет / Н. М. Ксенофонтов. — СПб: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2022. — 126 с.
13. Ксенофонтов Н. М. Проведение экспертной оценки технического состояния верховых ремонтных затворов наполнения и опорожнения водопроводных галерей Нижне-Свирского шлюза по МУ 050.025–2001: тех. отчет / Н. М. Ксенофонтов. — СПб: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2020. — 87 с.
14. Ксенофонтов Н. М. Инструментальное обследование и выполнение поверочных расчетов фактической несущей способности металлоконструкций аварийно-ремонтного затвора, и выполнение поверочных расчетов фактической несущей способности обоих основных затворов на входном оголовке холостого водосброса шлюза № 23 Самарского РГСЧС — по результатам инструментального обследования металлоконструкций обоих основных затворов выполненных Заказчиком: тех. отчет / Н. М. Ксенофонтов. — СПб: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2020. — 86 с.

15. Садовский Г. Л. Ремонт судовых гидротехнических сооружений / Г. Л. Садовский. — М.: Транспорт, 1973. — 200 с.
16. Ярустовский А. А. Эксплуатация и ремонт затворов и механизмов / А. А. Ярустовский // Эксплуатация гидротехнических сооружений: сб. тр. первой конференции по эксплуатации судовых гидротехнических сооружений. — М: Речной транспорт, 1955. — С. 83–110.
17. Huntley R. A corrosion control plan for Saint Lawrence Seaway navigation locks / R. Huntley, D. Boich // Journal of protective coatings & linings. — 2019. — Vol. 36. — Is. 11. — Pp. 28–32.
18. Бод К. Ю. Проведение исследований и расчетный анализ фактической несущей способности металлоконструкции основных двустворчатых ворот нижней головы шлюза № 1 средних голов шлюзов №№ 1, 3, 13, 16, аварийно-ремонтных ворот шлюза № 14, затворов водоспуска № 141 Хижозерского гидроузла ФБУ «Администрация «Беломорканал» (Этап II): отчет о НИР / К. Ю. Бод. — Волгоград: АО «НИИЭС» Волгоградский филиал, 2018. — 189 с.
19. Бод К. Ю. Обследование металлоконструкций основных двустворчатых ворот верхних голов судовых гидротехнических сооружений: тех. отчет / К. Ю. Бод. — Волгоград: АО «НИИЭС» Волгоградский филиал, 2019. — 521 с.
20. Бод К. Ю. Проведение обследования рабочих двустворчатых ворот нижней и верхней голов шлюза № 30 Волгоградского гидроузла ФБУ «Администрация «Волго-Дон» с выдачей заключения о техническом состоянии и расчетом ресурса дальнейшей эксплуатации: тех. отчет / К. Ю. Бод. — Волгоград: АО «НИИЭС» Волгоградский филиал, 2016. — 160 с.
21. Маркович Р. А. Коррозия морских гидротехнических сооружений / Р. А. Маркович, А. В. Колгушкин // Гидротехника. — 2009. — № 2. — С. 72–75.
22. Кученев В. О. Сводная оценка коррозионной стойкости отдельных марок стали нефтегазопроводных труб для РУП «Производственное объединение «Беларусьнефть» / В. О. Кученев, А. Г. Ракутько, А. С. Асадчев // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. — 2020. — № 1 (80). — С. 94–101.
23. Коломийцев Е. В. Коррозионная стойкость сварных соединений судокорпусных материалов / Е. В. Коломийцев // Автоматическая сварка. — 2013. — № 4 (720). — С. 59–64.
24. Латыпова Д. Р. Исследование коррозии контактной пары сталей 09Г2С/12Х18Н10Т в технологических средах колонного оборудования / Д. Р. Латыпова [и др.] // Нефтегазовое дело. — 2020. — Т. 18. — № 6. — С. 122–129. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-6-122-129.
25. Коррозия и защита химической аппаратуры. Справочное руководство / коллектив авторов под ред. А. М. Сухотина. — М.: Химия, 1970. — Т. 3: Коррозия под действием теплоносителей и хладагентов. — 308 с.

REFERENCES

1. Shraer, L. L. *Korroziya. Spravochnik*. M.: Metallurgiya, 1981.
2. Vernigorova, V. N., E. V. Korolev, A. I. Eremkin, and Yu. A. Sokolova. *Korroziya stroitel'nykh materialov: Monografiya*. M.: Izdatel'stvo «Paleotip», 2007.
3. Gerasimenko, A. A., ed. *Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdenii mashin, oborudovaniya i sooruzhenii*. Vol. 2. M: Mashinostroenie, 1987.
4. Kalinovskaya, Valeria Alexandrovna, and Darya Dmitrievna Ogurtsova. “Corrosion of metals. Methods for protecting metals from corrosion.” *Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)* 1 (2022): 124–128.
5. Zhang, Zehui, Jin Wu, Xing Zhao, Yongsheng Zhang, Yaming Wu, Tian Su, and Huachao Deng. “Life evaluation of organic coatings on hydraulic metal structures.” *Progress in Organic Coatings* 148 (2020): 105848. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105848.
6. Kuz'mitskii, M. L., and N. M. Ksenofontov. “Corrosive wear of gate and valve metal structures at navigation locks and assessment of their remaining lifetime.” *Power Technology and Engineering* 50.2 (2016): 164–167. DOI: 10.1007/s10749-016-0677-8.
7. Dymkin, G. Ya., and V. P. Lokhov. “Eshche raz o vliyaniy sherokhotosti poverkhnosti izdeliya na rezul'taty UZK pryamymi PEP.” *V mire nerazrushayushchego kontrolya* 1 (2007): 25–26.
8. Kuzmin, D. A., and V. I. Baranenko. “Influence of deposits on the nature of corrosion processes and ultrasonic control of pipeline wall thickness.” *Tyazheloye Mashinostroyeniye* 4 (2020): 20–24.

9. Kuzmitskiy, M. L., and N. M. Ksenofontov. "On the reliability of the results of measurements of the residual thickness of the metal elements gates and valve of navigation locks in operation by the ultrasonic method." *NDT World* 23.1 (2020): 40–44. DOI: 10.12737/1609-3178-2020-38-42.
10. Bulatov, A. S., and V. A. Syasko. "Modern ultrasonic methods to measure the remaining thickness of the wall of metal products under the protective coatings." *NDT World* 19.3 (2016): 4–8.
11. Gan, Fangji, Lin Min, Xu Tao, and Junbi Liao. "Ultrasonic thickness measurement technique with self-calibration function." *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring* 60.11 (2018): 619–625. DOI: 10.1784/insi.2018.60.11.619.
12. Ksenofontov, N. M. *Provedenie ekspertnoi otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya osnovnykh vorot nizhnei golovy Verkhne-Svirskogo shlyuza: Tekhnicheskii otchet*. SPb: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S. O. Makarova», 2022.
13. Ksenofontov, N. M. *Provedenie ekspertnoi otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya verkhovykh remontnykh zatvorov napolneniya i oporozhneniya vodoprovodnykh galerei Nizhne-Svirskogo shlyuza po MU 050.025–2001: Tekhnicheskii otchet*. SPb: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S. O. Makarova», 2020.
14. Ksenofontov, N. M. *Instrumental'noe obsledovanie i vypolnenie poverochnykh raschetov fakticheskoi nesushchei sposobnosti metallokonstruktsii avariino-remontnogo zatvora, i vypolnenie poverochnykh raschetov fakticheskoi nesushchei sposobnosti oboikh osnovnykh zatvorov na vkhodnom ogolovke kholostogo vodobrosa shlyuza № 23 Samarskogo RGSiS — po rezul'tatam instrumental'nogo obsledovaniya metallokonstruktsii oboikh osnovnykh zatvorov vypolnennykh Zakazchikom: Tekhnicheskii otchet*. SPb: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S. O. Makarova», 2020.
15. Sadovskii, G. L. *Remont sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii*. M.: Transport, 1973.
16. Yarustovskii, A. A. "Ekspluatatsiya i remont zatvorov i mekhanizmov." *Ekspluatatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: sb. tr. pervoi konferentsii po ekspluatatsii sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii*. M: Rechnoi transport, 1955. 83–110.
17. Huntley, Rick, and Dan Boich. "A corrosion control plan for saint lawrence seaway navigation locks." *Journal of Protective Coatings & Linings* 36.11 (2019): 28–32.
18. Bod, K. Yu. *Provedenie issledovaniy i raschetnyi analiz fakticheskoi nesushchei sposobnosti metallokonstruktsii osnovnykh dvustvorchatykh vorot nizhnei golovy shlyuza № 1 srednikh golov shlyuzov №№ 1, 3, 13, 16, avariino-remontnykh vorot shlyuza № 14, zatvorov vodospuska № 141 Khizhoverskogo gidrouzla FBU «Administratsiya «Belomorkanal» (Etap II): Otchet o NIR*. Volgograd: AO «NIIES» Volgogradskii filial, 2018.
19. Bod, K. Yu. *Obsledovanie metallokonstruktsii osnovnykh dvustvorchatykh vorot verkhnikh golov sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: Tekhnicheskii otchet*. Volgograd: AO «NIIES» Volgogradskii filial, 2019.
20. Bod, K. Yu. *Provedenie obsledovaniya rabochikh dvustvorchatykh vorot nizhnei i verkhnei golov shlyuza № 30 Volgogradskogo gidrouzla FBU «Administratsiya «Volgo–Don» s vydachei zaklyucheniya o tekhnicheskoi sostoyanii i raschetom resursa dal'neishei ekspluatatsii: Tekhnicheskii otchet*. Volgograd: AO «NIIES» Volgogradskii filial, 2016.
21. Markovich, R. A., and A. V. Kolgushkin. "Korroziya morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii." *Gidrotekhnika* 2 (2009): 72–75.
22. Kuchenev, V. O., A. G. Rakut'ko, and A. S. Asadchev. "Svodnaya otsenka korrozionnoi stoikosti otel'nykh marok stali neftegazoprovodnykh trub dlya RUP "Proizvodstvennoe ob"edinenie "Belarus'neft"" *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Sukhogo* 1(80) (2020): 94–101.
23. Kolomiitsev, E.V. "Korroziyonnaya stoikost' svarnykh soedinenii sudokorpusnykh materialov." *Avtomaticheskaya svarka* 4(720) (2013): 59–64.
24. Latypova, D. R., D. E. Bugai, O. R. Latypov, and V. N. Ryabukhina. "Study of the corrosion of contact steel vapors 09MN2SI/12CR18NI10TI in the process media of the column equipment." *Petroleum Engineering* 18.6 (2020): 122–129. DOI: 10.17122/ngdelo-2020–6–122–129
25. Sukhotin, A. M., ed. *Korroziya i zashchita khimicheskoi apparatury. Spravochnoe rukovodstvo. Tom 3. Korroziya pod deistviem teplonositelei i khladogentov*. M.: Khimiya, 1970.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ксенофонтов Николай Михайлович —
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ksenofontovnm@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ksenofontov, Nikolay M. —
PhD
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: ksenofontovnm@gumrf.ru

Лошак Виталий Николаевич —
начальник службы
гидротехнических сооружений и энергетики
ФБУ «Администрация «Волго-Балт»
191014, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Виленский пер, дом 15, литер Б
e-mail: loshak@volgo-balt.ru

Loshak, Vitaliy N. —
Head of the Hydrotechnical Structures
and Energy Service
Volgo-Balt Administration
15/B Vilenskii Lane, St. Petersburg, 191014,
Russian Federation
e-mail: loshak@volgo-balt.ru

*Статья поступила в редакцию 12 апреля 2023 г.
Received: April 12, 2023.*