

DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.06

УДК 69.057.4: 621.357.7

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦИНКОВАНИЯ ДЛЯ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МОНТАЖНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М.С. Казаков, А.С. Гришина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 23 июня 2022
Одобрена: 20 августа 2022
Принята к публикации:
15 сентября 2022

Ключевые слова:

коррозия, антикоррозионная защита, металлические конструкции, цинк, гальваническое цинкование.

АННОТАЦИЯ

Гальваническое цинкование сварных швов является эффективным методом для предотвращения коррозии строительных конструкций. Как правило, гальваническое, или электролитическое, нанесение цинкового покрытия на металлическую поверхность для антикоррозионной защиты производят в заводских условиях с применением ванн. Заводское антикоррозионное покрытие имеет высокое качество и долговечность. Но в условиях строительной площадки производится монтаж конструкций с применением сварки, при которой происходит разрушение заводской антикоррозионной защиты. Поэтому необходимо производить дополнительную качественную антикоррозионную защиту монтажных сварных швов на месте монтажа конструкции.

На сегодняшний день один из самых актуальных материалов для защиты металлических поверхностей является цинк. Поэтому в статье рассматривается возможность применения метода цинкования для антикоррозионной защиты монтажных сварных швов. На основе одного из патентов было разработано мобильное устройство, которое позволяет производить антикоррозионную защиту монтажных сварных швов в условиях строительной площадки электролитическим методом. Качество наносимого покрытия предложенным устройством соответствует требованиям нормативной документации.

Также статья содержит результаты испытания антикоррозионных покрытий по металлическим образцам со сварным швом с последующим сравнительным анализом методов защиты монтажных сварных швов от коррозии: лакокрасочных покрытий по металлу, гальванического цинкования при помощи разработанного устройства; холодного цинкования.

При проведении сравнительного анализа типов антикоррозионных покрытий метод гальванического или электролитического нанесения цинкового покрытия с помощью предложенного мобильного устройства показал себя эффективнее лакокрасочных покрытий и холодного цинкования. Также метод гальванического нанесения цинкового покрытия является наиболее рациональным, так как данный метод имеет малый расход цинка по сравнению с остальными методами цинкования.

© ПНИПУ

© Гришина Алла Сергеевна – старший преподаватель, e-mail: koallita@yandex.ru
Казаков Максим Сергеевич – студент, e-mail: cazakow23@narod.ru

Alla S. Grishina – Senior Lecturer, e-mail: koallita@yandex.ru
Maksim S. Kazakov – Student, e-mail: cazakow23@narod.ru

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF GALVANIZING METHOD FOR CORROSION PROTECTION OF MOUNTING WELDS OF BUILDING STRUCTURES

M.S. Kazakov, A.S. Grishina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 23 June 2022
Approved: 20 August 2022
Accepted for publication:
15 September 2022

Keywords:

corrosion, corrosion protection, metal structures, zinc, galvanic galvanizing.

ABSTRACT

Galvanizing of welded seams is an effective method to prevent corrosion of building structures. As a rule, galvanic or electrolytic deposition of zinc coating on a metal surface for anti-corrosion protection is carried out at the factory using baths. Factory anti-corrosion coating is of high quality and durability. But in the conditions of a construction site, structures are assembled using welding, during which the factory anti-corrosion protection is destroyed. Therefore, it is necessary to provide additional high-quality anti-corrosion protection of assembly welds at the site of construction installation.

Today, one of the most relevant materials for the protection of metal surfaces is zinc. Therefore, the article considers the possibility of using the galvanizing method for anticorrosive protection of field welds. On the basis of one of the patents, a mobile device was developed that makes it possible to perform anti-corrosion protection of assembly welds in the conditions of a construction site using the electrolytic method. The quality of the coating applied by the proposed device meets the requirements of regulatory documentation.

Also, the article is a description of the testing of anti-corrosion coatings on metal samples with a welded seam, followed by a comparative analysis of methods for protecting field welds from corrosion: paint and varnish coatings for metal, galvanic zinc plating using the developed device; cold galvanizing.

When conducting a comparative analysis of the types of anti-corrosion coatings, the method of galvanic or electrolytic zinc coating using the proposed mobile device turned out to be more effective than paint coatings and cold galvanizing based on a comparative analysis of types of anti-corrosion coatings. Also, the method of galvanic zinc coating is the most rational, since this method has a low consumption of zinc compared to other methods of galvanizing.

© PNRPU

Безопасная эксплуатация зданий и сооружений всегда являлась актуальной задачей. Имеется множество научных публикаций, посвященных обрушению зданий вследствие коррозии металлоконструкций [1–4]. В целях предупреждения появления и развития коррозии необходимо производить качественную антикоррозионную защиту металлических поверхностей.

Монтажные сварные швы, по сравнению с другими участками конструкций, больше всего подвержены коррозии, так как сварка разрушает качественную заводскую антикоррозионную защиту. Существует необходимость в условиях строительной площадки производить надежную и долговечную антикоррозионную защиту монтажных сварных швов.

Существует ряд методов, которые могут применяться в качестве антикоррозионной защиты монтажных сварных швов: различные лакокрасочные материалы (эпоксидные, полиуретановые, акриловые и т.д.), цинконаполненные грунтовки, покрытия на основе алюминия, различные виды цинкования: горячее, термодиффузионное, газотермическое, гальваническое [5–9].

В данной статье рассматривается метод гальванического цинкования, антикоррозионная защита которым, как правило, выполняется в заводских условиях с применением ванн. Предлагается рассмотреть возможность применения гальванического метода непосредственно в условиях строительной площадки.

Целью исследования является оценка эффективности метода гальванического цинкования для антикоррозионной защиты монтажных сварных швов металлических конструкций зданий и сооружений в условиях строительной площадки.

В статье [10], посвящённой антикоррозионной защите сварных швов, авторы рассматривают различные методы антикоррозионной защиты и приходят к выводу о том, что метод гальванического цинкования является наиболее рациональным для защиты стальных изделий от коррозии. По сравнению с другими методами цинкования, гальваническое цинкование позволяет сократить расход цинка. Качество такого защитного слоя выше лакокрасочных антикоррозионных материалов.

На основе известного устройства для нанесения электролитических покрытий (патент RU 2533476 от 25.12.12) [11], было разработано устройство (рис. 1), которое позволяет наносить цинковое покрытие электролитическим методом в условиях строительной площадки. Отличительные признаки от прототипа – источник тока вынесен в отдельный корпус; корпус с источником тока снабжен нагрузочными резисторами и тумблерами для выбора режимов работы. Разработанное устройство состоит из корпуса для источника тока с тумблерами для выбора режимов работы, рукоятки, которая представляет собой ёмкость с поршнем для электролита [12] и его подачи к цинковому наконечнику, который в свою очередь обёрнут в хлопковый тампон. Также имеется зажим для соединения с обрабатываемой поверхностью. Все элементы устройства связаны между собой многожильными медными проводами. Первый режим работы устройства служит для нанесения первого слоя цинка, для лучшей адгезии с металлом, второй режим необходим для ускорения нанесения последующих слоёв цинка.

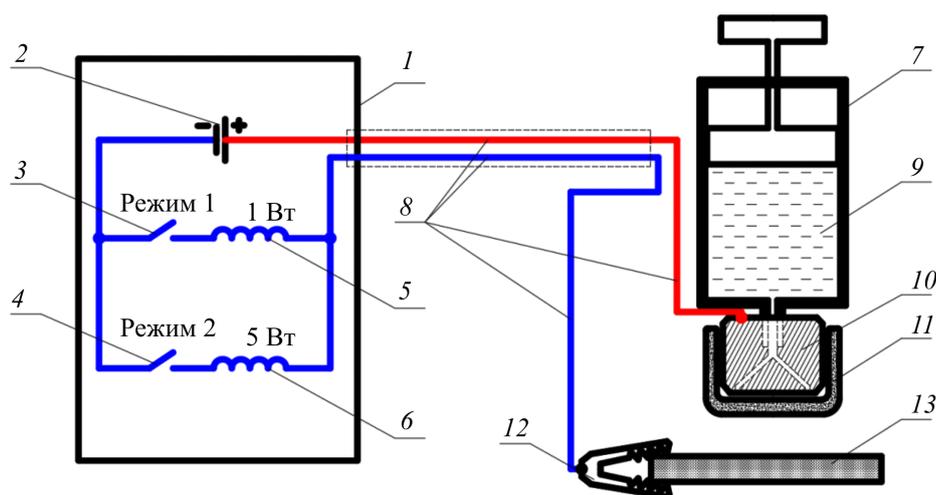


Рис. 1. Схема устройства для нанесения цинкового покрытия: 1 – корпус источника тока; 2 – источник постоянного тока, напряжением 11,1 В; 3 – тумблер первого режима работы (сила тока в цепи 0,09 А); 4 – тумблер второго режима работы (сила тока в цепи 0,45 А); 5 – нагрузка цепи мощностью 1 Вт; 6 – нагрузка цепи мощностью 5 Вт; 7 – химически стойкий корпус рукоятки с поршнем для подачи электролита; 8 – медный многожильный провод; 9 – электролит (раствор хлорида цинка с водой); 10 – анод, выполненный из цинка; 11 – материал (вата), пропитанный электролитом; 12 – зажим типа «крокодил»; 13 – обрабатываемая поверхность

Fig. 1. Schematic diagram of the device for zinc coating: 1 – current source housing; 2 – DC source, voltage 11.1 V; 3 – tumbler of the first mode of operation (circuit current strength 0,09 A); 4 – tumbler of the second mode of operation (circuit current strength 0,45 A); 5 – circuit load of 1 W; 6 – circuit load of 5 W; 7 – chemically resistant body of the handle with a piston for electrolyte feeding; 8 – copper stranded wire; 9 – electrolyte (zinc chloride solution with water); 10 – anode made of zinc; 11 – material (wool) soaked in electrolyte; 12 – alligator clamp; 13 – processed surface

Толщина цинкового покрытия, полученная при помощи разработанного устройства, соответствует требованиям СП 72.13330.2016. Внешний вид цинкового покрытия соответствует требованиям ГОСТ 9.301–86. Технические характеристики разработанного устройства представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики устройства

Table 1

Device specifications

Наименование	Значение
Производительность, м ² /ч	0,15
Источник постоянного тока ёмкостью, мАч	3600
Время бесперебойной работы, ч	8
Время полного заряда источника тока, ч	3
Возможность регулировки плотности тока	Да
Масса устройства, г	300
Габаритные размеры корпуса с источником тока, мм	
Длина	75
Ширина	70
Высота	25
Габаритные размеры рукоятки, мм	
Высота	120
Диаметр	35
Длина гибких проводов от корпуса до рукоятки, м	
От корпуса до рукоятки	1,30
От рукоятки до зажима	0,70

Для оценки эффективности существующих типов защиты от коррозии металлических конструкций, а именно, монтажных сварных швов, было проведено испытание различных защитных покрытий. Испытание подразумевало под собой визуальное сравнение следующих антикоррозионных покрытий: лакокрасочных покрытий II, III и IV групп, согласно СП 28.13330.2017; цинковых покрытий, выполненных методами гальванического и холодного цинкования.

Для сравнительного анализа покрытий применялись металлические равнополочные уголки из стали СтЗсп по ГОСТ 8509-93, размером 40 × 40 × 4 мм, с нанесенными сварными швами электродуговой сваркой, электродами ОК-46, по ГОСТ 9467-75.

Типы антикоррозионных покрытий (рис. 2), нанесенных на металлические образцы, используемые для сравнения, были следующие:

1. Холодное цинкование (ТУ 20.30.22-328-49404743-2017), толщина покрытия 60 мкм.
2. Фосфатирующий (кислотный) грунт, III группа лакокрасочных материалов, толщина покрытия 150 мкм
3. Эпоксидный грунт IV группа лакокрасочных материалов, толщина покрытия 50 мкм.
4. Грунт ГФ-021 II группа лакокрасочных материалов, толщина покрытия 300 мкм.
5. Гальваническое цинкование с помощью заявленного мобильного устройства, толщина покрытия около 30–35 мкм.

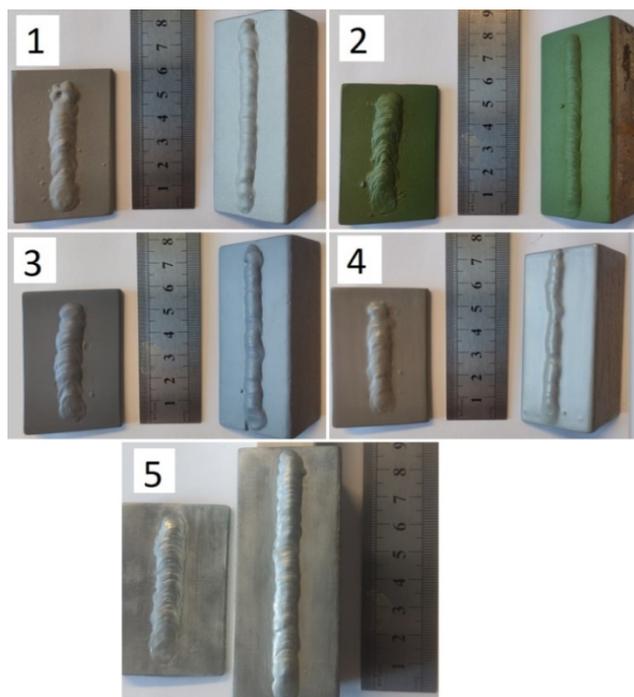


Рис. 2. Нанесенные покрытия: 1 – холодное цинкование; 2 – фосфатирующий грунт; 3 – эпоксидный грунт; 4 – грунт ГФ-021; 5 – гальваническое цинкование с помощью заявленного мобильного устройства

Fig. 2. The applied coatings: 1 – cold galvanizing; 2 – phosphating primer; 3 – epoxy primer; 4 – primer GF-021; 5 – galvanizing with the declared mobile device

Испытание включало следующие операции:

1. Изготовление образцов со сварными швами.
2. Механическую подготовку поверхности сварных швов (очистка швов от загрязнений, окалины, шлака) с последующим обезжириванием образцов.
3. Нанесение антикоррозионных покрытий на подготовленные образцы.
4. Измерение толщины покрытия.
5. Выдержку пластин в растворе хлорида натрия.
6. Визуальный осмотр и сравнение антикоррозионных покрытий образцов после выдержки.

Толщина лакокрасочных покрытий была получена при помощи электронного толщиномера. Толщина цинкового покрытия, нанесённого при помощи мобильного устройства, составляет 30–35 мкм, и определена за счет известной производительности устройства. Все толщины покрытий соответствуют СП 28.13330.2017.

На каждое антикоррозионное покрытие использовалось по два образца. Всего было изготовлено десять образцов, и все они выдерживались 20 сут в 20 % растворе хлорида натрия, при окружающей температуре воздуха 23 градуса, каждый в отдельной ёмкости, объём раствора в течение всего срока поддерживался. Внешний вид покрытий после выдержки представлен на рис. 3.

Антикоррозионное цинковое покрытие, выполненное методом гальванического цинкования с помощью мобильного устройства, показало себя на порядок устойчивее по сравнению с лакокрасочными покрытиями II, III, IV группы и холодным цинкованием. Первые дефекты начали образовываться на образце 4 с покрытием грунт ГФ-021, в виде питтинговой коррозии [13–15] и вздутий покрытия в области сварного шва. Далее, во время выдержки в

растворе хлорида натрия, точечная коррозия начала образовываться на образце 1 с покрытием «цинконаполненная грунтовка». Также дефекты начали проявляться на образцах 2 (фосфатирующий грунт) и 3 (эпоксидный грунт) в виде вздутий и отслоений покрытий. На образце с цинковым покрытием, нанесенным гальваническим методом, образовался тонкий матовый слой в виде гидроксида цинка, который не является дефектом и защищает от дальнейшего окисления. Толщина гальванического покрытия, по сравнению с остальными покрытиями, имеет самое малое значение (30–35 мкм), такая толщина недостаточна для защиты от механических воздействий. При эксплуатации существует возможность повредить цинковое покрытие и оголить металлическую поверхность, вследствие чего будет происходить коррозия в месте повреждения. Поэтому необходимо производить дополнительное нанесение лакокрасочного покрытия материалами I или II групп по СП 28.13330.2017.

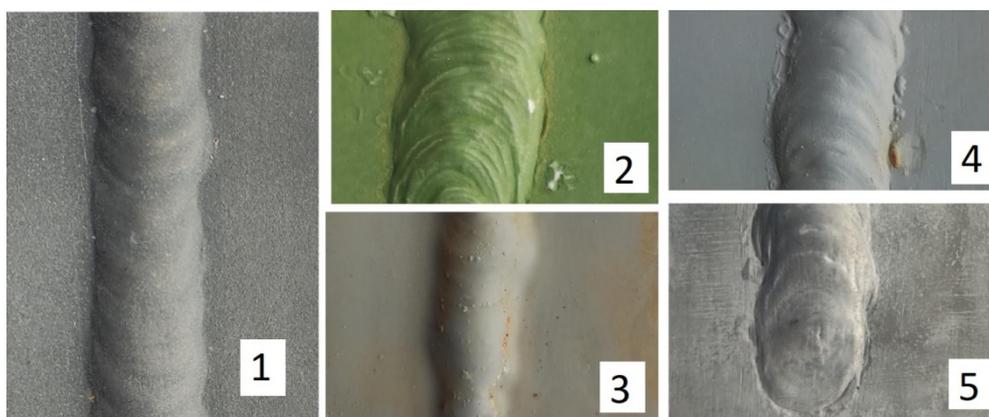


Рис. 3. Внешний вид покрытий после проведения испытания: 1 – холодное цинкование; 2 – фосфатирующий грунт; 3 – эпоксидный грунт; 4 – грунт ГФ-021; 5 – гальваническое цинкование с помощью заявленного мобильного устройства

Fig. 3. The appearance of coatings after the test: 1 – cold galvanizing; 2 – phosphating primer; 3 – epoxy primer; 4 – primer GF-021; 5 – galvanizing with a mobile device

Анализ результатов после выдержки образцов в растворе хлорида натрия представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ различных типов покрытия

Table 2

Comparative analysis of different types of coating

№ п/п	Тип покрытия	Группа лакокрасочных покрытий по СП28.13330.2017	Внешний вид антикоррозионного покрытия после проведения испытания	Визуальная оценка повреждения пластин, %
1	Холодное цинкование (ТУ 20.30.22-328-49404743-2017)	–	Малое количество точечной коррозии	5
2	Фосфатирующий грунт	III	Вздутия по периметру сварного шва, редкое отслоение покрытия	9

№ п/п	Тип покрытия	Группа лакокрасочных покрытий по СП28.13330.2017	Внешний вид антикоррозионного покрытия после проведения испытания	Визуальная оценка повреждения пластин, %
3	Эпоксидный грунт	IV	Многочисленные вздутия в области сварного шва и по периметру	15
4	Грунт ГФ-021	II	Вздутия покрытия по всей пластине, местами отслоение покрытия от пластины	18
5	Гальваническое цинкование с помощью предложенного мобильного устройства	–	Образование тонкого слоя гидроксида цинка (который также является защитным)	1

Выводы

Удалось создать рабочий прототип мобильного устройства, который позволяет выполнять электролитическое цинкование на локальных участках металлических поверхностей и имеет малые габариты для удобства нанесения покрытий в условиях монтажа строительных конструкций. Толщина цинкового покрытия, нанесенного методом гальванического цинкования, составляет 30–35 мкм и удовлетворяет требованиям СП 72.13330.2016. Внешний вид цинкового покрытия соответствует требованиям ГОСТ 9.301–86.

При проведении сравнительного анализа типов антикоррозионных покрытий метод гальванического нанесения цинкового покрытия с помощью заявленного мобильного устройства показал себя на порядок лучше лакокрасочных покрытий II, III, IV группы и холодного цинкования. Все покрытия, за исключением гальванического, имели дефекты в виде питтинговой коррозии и вздутий.

Цинковое покрытие, нанесённое с помощью мобильного устройства, имеет толщину 30–35 мкм. Для защиты монтажных сварных швов строительных конструкций от механических воздействий необходимо предусматривать дополнительное окрашивание поверхности лакокрасочными материалами I или II групп по СП 28.13330.2017.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Анализ причин аварии покрытия бассейна «Дельфин» в г. Чусовом / В.А. Полимонов, А.В. Калугин, В.В. Коркодинов, Л.П. Абашева, Б.И. Десятов // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 6–21.
2. Характерные дефекты и повреждения металлических конструкций / В.В. Иванов, А.Г. Николаев, В.М. Шварц, О.Б. Рябов, В.Н. Степанов // Химическая техника. – 2015. – № 7. – С. 7.

3. Тавкин А.А. Основные причины аварий зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – URL: <http://pamag.ru/src/prensa/142.pdf> (дата обращения: 30.01.2020).

4. Ведяков И.И., Одесский П.Д. Защита от коррозии стальных строительных конструкций цинкованием // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31–2 (50). – С. 20–23.

5. Асталюхина А.С., Пикалов Е.С. Характеристика современных методов нанесения защитных цинковых покрытий // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 11. – С. 11–14.

6. Колюбаев А.А., Мякишев А.М., Шабанова И.А. Гальваническое цинкование поверхностей металлов // Молодежь и системная модернизация страны. – 2019. – № 4. – С. 162–164.

7. Куц А.А., Михайленко В.Д. Гальваническое цинкование поверхностей металлических изделий // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2019. – № 33. – С. 50–52.

8. Наномодифицированные хромовые гальванические покрытия / Ю.В. Литовка, И.А. Дьяков, О.А. Кузнецова [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2011. – Т. 19, № 4. – С. 29–33.

9. Губин А.Ф., Козлова Е.Н., Гусев В.Ю. Перспективная технология гальванического цинкования // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2006. – № 1. – С. 71–73.

10. Казаков М.С., Гришина А.С. Антикоррозионная защита монтажных сварных швов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2020. – № 2. – С. 57–61.

11. Устройство для нанесения электролитических покрытий: пат. 2533476 Рос. Федерация / Ненашев М.В., Деморецкий Д.А., Ибатуллин И.Д., Журавлев А.Н., Марков А.С., Кретов С.С., Дурницын К.С. – № 2012156337/02; заявл. 25.12.12; опубл. 20.11.14. Бюл. № 32. – 6 с.

12. Дегтярь Л.А., Аветян Г.А., Куц А.А. Характеристики электролитов-коллоидов цинкования и перспективы их применения в гальваническом производстве // Наукосфера. – 2020. – № 11–2. – С. 235–240.

13. Кайдриков Р.А., Виноградова С.С. Питтинговая коррозия металлов и многослойных систем (исследование, моделирование, прогнозирование, мониторинг) // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 4. – С. 212–227.

14. Виноградова С.С., Кайдриков Р.А., Журавлев Б.Л. Развитие электрохимических методов оценки коррозионной стойкости многослойных гальванических покрытий // Альманах современной науки и образования. – 2008. – № 7. – С. 39–42.

15. Mankowski J., Szklarska-Smialowska Z. The effect of specimen position on the shape of corrosion pits in an austenitic stainless steel // Corros. Sci. – 1977. – Vol. 17, № 8. – P. 725–735.

References

1. Polimonov V.A., Kalugin A.B., Korkodinov V.V., Abasheva L.P., Desyatov B.I. Analiz prichin аварии pokrytiya basseyna «Del'fin» v g. Chusovom [Analysis of the causes of the accident covering the Dolphin pool in Chusovoy]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2010, no. 1, pp. 6–21.

2. Ivannikov V.V., Nikolayev A.G., Shvarts V.M., Ryabov O.B., Stepanov V.N. Kharakternyye defekty i povrezhdeniya metallicheskih konstruksiy [Characteristic defects and damage to metal structures]. *Khimicheskaya tekhnika*, 2015, no. 7, p. 7.

3. Tavkin' A.A. Osnovnyye prichiny avariynkh zdaniy i sooruzheniy [The main causes of emergency buildings and structures], available at: <http://pamag.ru/src/prensa/142.pdf> (accessed 30 January 2020).

4. Vedyakov I.I., Odesskiy P.D. Zashchita ot korrozii stal'nykh stroitel'nykh konstruksiy tsinkovaniyem [Protection against corrosion of steel building structures by galvanizing]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 31–2 (50), pp. 20–23.

5. Astalyukhina A.S., Pikalov E.S. Kharakteristika sovremennykh metodov naneseniya zashchitnykh tsinkovykh pokrytiy [Description of modern methods of applying protective zinc coatings]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2015, no. 11, pp. 11–14.

6. Kolyubaev A.A., Myakishev A.M., Shabanova I.A. Gal'vanicheskoye tsinkovaniye poverkhnostey metallov [Galvanic galvanizing of metal surfaces]. *Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany*, 2019, no. 4, pp. 162–164.

7. Kuts A.A., Mikhailenko V.D. Gal'vanicheskoye tsinkovaniye poverkhnostey metallicheskih izdeliy [Galvanic galvanizing of surfaces of metal products]. *Sovremennyye tekhnologii: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii*, 2019, no. 33, pp. 50–52.

8. Litovka Yu.V., Dyakov I.A., Kuznetsova O.A. et al. Nanomodifitsirovannyye khromovyye gal'vanicheskiye pokrytiya [Nanomodified chromium plating]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*, 2011, t. 19, no. 4, pp. 29–33.

9. Gubin A.F., Kozlova E.N., Gusev V.Yu. Perspektivnaya tekhnologiya gal'vanicheskogo tsinkovaniya [Perspective technology of galvanic galvanizing]. *Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii*, 2006, no. 1, pp. 71–73.

10. Kazakov M.S., Grishina A.S. Antikorrozionnaya zashchita montazhnykh svarnykh shvov [Anticorrosion protection of assembly welds]. *Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*, 2020, no. 2, pp. 57–61.

11. Nenashev M.V., Demoretskiy D.A., Ibatullin I.D., Zhuravlev A.N., Markov A.S., Kretov S.S., Durnitsyn K.S. Ustroystvo dlya naneseniya elektroliticheskikh pokrytiy [Device for applying electrolytic coatings]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2533476 (2014).

12. Degtyar L.A., Avetyan G.A., Kuts A.A. Kharakteristiki elektrolitov-kolloidov tsinkovaniya i perspektivy ikh primeneniya v gal'vanicheskom proizvodstve [Characteristics of galvanizing colloid electrolytes and prospects for their application in galvanic production]. *Naukosfera*, 2020, no. 11–2, pp. 235–240.

13. Kaydrikov R.A., Vinogradova S.S. Pittingovaya korroziya metallov i mnogosloynnykh sistem (issledovaniye, modelirovaniye, prognozirovaniye, monitoring) [Pitting corrosion of metals and multilayer systems (research, modeling, forecasting, monitoring)]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2010, no. 4, pp. 212–227.

14. Vinogradova S.S., Kaidrikov R.A., Zhuravlev B.L. Razvitiye elektrokhimicheskikh metodov otsenki korrozionnoy stoykosti mnogosloynnykh gal'vanicheskikh pokrytiy [Development of electrochemical methods for assessing the corrosion resistance of multilayer galvanic coatings]. *Al'manakh sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2008, no. 7, pp. 39–42.

15. Mankowski J., Szklarska-Smialowska Z. The effect of specimen position on the shape of corrosion pits in an austenitic stainless steel. *Corros. Sci.* 1977, vol. 17, no 8, pp. 725–735.