

В.В. ДЬЯЧКОВ

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Аннотация

Введение. Коррозия стальной арматуры является одним из главных факторов разрушения железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред. Применение стальной арматуры с защитными покрытиями, наносимыми на ее поверхность в заводских условиях, является одним из важных направлений в создании долговечных железобетонных конструкций.

Цель. Показать возможные перспективы применения в России различных защитных покрытий арматуры для увеличения долговечности железобетонных конструкций в условиях воздействия агрессивных сред. Разработать предложения о необходимости выполнения научно-исследовательских работ для создания нормативной базы и внедрения в практику строительства арматуры с защитным покрытием.

Материалы и методы. Определение перспектив применения защитных покрытий арматуры в железобетонных конструкциях выполнено с помощью анализа научно-технической литературы, статей, нормативно-технических документов и информации из открытых источников по изучаемой проблеме.

Результаты. Приведен опыт применения стальной арматуры с защитными покрытиями в России и за рубежом. Выделены наиболее применяемые технологии нанесения защитных покрытий на арматуру в заводских условиях. На примере исследований показаны основные достоинства и недостатки арматуры с защитным покрытием как в части долговечности самого покрытия, так и в части совместной работы с бетоном. Состояние отечественной и зарубежной нормативных баз значительно отличается друг от друга. В отличие от России, за рубежом создана обширная нормативная база, позволяющая выполнять проектирование железобетонных конструкций с арматурой с защитными покрытиями. На примере зарубежного опыта выявлены наиболее экономически целесообразные виды защитных покрытий. При некотором удорожании стоимости арматуры с защит-

ными покрытиями по сравнению с обычной арматурой экономическая эффективность в целом достигается за счет увеличения межремонтного срока службы железобетонной конструкции.

Выводы. Современная практика проектирования и строительства показывает, что для целого ряда железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред, является необходимым применение арматуры с защитными покрытиями. Существуют большие перспективы применения арматуры с защитными покрытиями в России, однако в этом направлении необходимо развивать нормативно-техническую базу. По итогам анализа вопроса даны предложения о необходимости выполнения научно-исследовательских работ и перечень необходимых нормативно-технических документов для внедрения в практику строительства арматуры с защитным покрытием.

Ключевые слова: арматура, бетон, железобетонные конструкции, защитное покрытие, условия окружающей среды, арматура с цинковым покрытием, арматура с эпоксидным покрытием

Для цитирования: Дьячков В.В. Перспективы применения стальной арматуры с защитными покрытиями в железобетонных конструкциях // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 5–13. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-5-13)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.02.2023

Поступила после рецензирования 21.03.2023

Принята к публикации 23.03.2023

V.V. DYACHKOV

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after
A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

PROSPECTS FOR THE USE OF STEEL REINFORCEMENT WITH PROTECTIVE COATINGS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract

Introduction. Corrosion of steel reinforcement is one of the main factors of destruction of reinforced concrete structures exposed to aggressive environment. The use of steel reinforcement with protective coatings applied to its surface in factory conditions is one of the important directions in the creation of durable reinforced concrete structures.

Aim. To show possible prospects for the use of various reinforcement protective coatings in Russia to increase the durability of reinforced concrete structures under the influence of aggressive environment. To develop proposals on the need to carry out research work to create a regulatory base and introduce into practice the construction of reinforcement with a protective coating.

Materials and methods. The determination of the prospects for the use of protective coatings of reinforcement in reinforced concrete structures was carried out by analyzing scientific and technical literature, articles, regulatory and technical documents and information from open sources on the problem under study.

Results. The experience of using steel reinforcement with protective coatings in Russia and abroad is given. The most widely used technologies for applying protective coatings to reinforcement in factory conditions are highlighted. The main advantages and disadvantages of reinforcement with a protective coating are shown on the example of studies, both in terms of the durability of the coating itself and in terms of working together with concrete. The state of the domestic and foreign regulatory base differs significantly from each other. In contrast to Russia, an extensive regulatory base has been created abroad that allows the design of reinforced concrete structures with reinforcement with protective coatings. Using the example of foreign experience, the most economically feasible types of protective coatings have been identified. With a certain increase in the cost of reinforcement

with protective coatings compared to black reinforcement, economic efficiency is generally achieved by increasing the service life of the reinforced concrete structure.

Conclusions. Modern design and construction practice shows that for a number of reinforced concrete structures operating under the influence of aggressive environment, it is necessary to use reinforcement with protective coatings. There are great prospects for the use of reinforcement with protective coatings in Russia, but it is necessary to develop a regulatory and technical base in this direction. Based on the results of the analysis of the issue, proposals are given on the need to carry out research and a list of necessary regulatory and technical documents for the introduction of reinforcement with a protective coating into the practice of construction.

Keywords: reinforcement, concrete, reinforced concrete structures, protective coating, environmental conditions, galvanized rebar, epoxy coated rebar

For citation: Dyachkov V.V. Prospects for the use of steel reinforcement with protective coatings in reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 2 (616), pp. 5–13. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-5-13)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 17.02.2023

Revised 21.03.2023

Accepted 23.03.2023

Введение

Согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1], одним из важнейших требований к железобетонным конструкциям является требование по долговечности. Для выполнения данного требования конструкция должна иметь такие начальные характеристики, чтобы в течение установленного длительного времени (расчетный срок службы) она удовлетворяла требованиям по безопасности и эксплуатационной пригодности с учетом влияния на геометрические характеристики конструкции и механические характеристики материалов различных расчетных воздействий (длительное действие нагрузки, неблагоприятные климатические, технологические, температурные и влажностные воздействия, попеременное замораживание и оттаивание, агрессивные воздействия и др.). Проектирование железобетонных конструкций выполняется таким образом, чтобы на протяжении всего расчетного срока эксплуатации конструкций обеспечивалась сохранность стальной арматуры и ее совместная работа с бетоном. К числу требований, обеспечивающих безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность конструкции, добавляются соответствующие требования к арматуре, одним из которых является недопущение ее повреждения в результате воздействия окружающей среды с последующим ухудшением механических и иных свойств.

Материалы и методы

В соответствии с действующими нормативными документами предупреждение повреждений арматуры железобетонных конструкций обеспечивают методами первичной и вторичной защиты. Первичная защита строительных конструкций реализуется на стадии проектирования в соответствии с требованиями ГОСТ 31384 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования» [2] и СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» [3] и заключается в выборе оптимальных конструктивных решений и материалов. Вторичная защита реализуется в соответствии с СП 72.13330.2016 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии» [4] и обеспечивает защиту от коррозии в тех случаях, когда меры первичной защиты недостаточны или по различным причинам не могут быть реализованы.

Одной из мер первичной защиты является использование арматуры с нанесенными по ее поверхности защитными покрытиями, выполняемыми в заводских условиях. Работа защитных покрытий арматуры, в том числе ее влияние на сцепление с бетоном и работа в условиях воздействия агрессивных сред, исследовалась как за рубежом, так и в России. В нашей стране исследования арматуры с покрытиями выполнялись под руководством проф. В.М. Москвина, С.Н. Алексеева, В.Ф. Степановой и др. [5–10], в

результате чего даны рекомендации по применению в железобетонных конструкциях, подверженных воздействию агрессивных сред. За рубежом исследования в данном направлении обширны и представлены во многих современных работах [11–27].

Результаты

Технология нанесения защитных покрытий в настоящее время за рубежом является уже отработанной. Для арматуры с защитными покрытиями разработана группа стандартов [28–33], на основании которых можно проектировать железобетонные конструкции с такой арматурой.

Таким образом, результаты анализа зарубежных исследований показывают, что применение стальной арматуры с покрытиями является одним из перспективных направлений в создании железобетонных конструкций, стойких к воздействию негативных условий эксплуатации.

Следует отметить, что в России накоплен определенный опыт в исследованиях, нормировании и внедрении арматуры с внешним покрытием. Речь идет о стальных семипроволочных канатах, применяемых в качестве напрягаемой арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Проведенные в центре новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона (лаборатории арматуры) НИИЖБ исследования, а также данные зарубежных исследований канатной арматуры, заключенной в кольцевую оболочку из полиэтилена высокой плотности, показали возможность применения ее в преднапряженных конструкциях без сцепления с бетоном. Выполненные исследования позволили разработать ГОСТ Р 58386-2019 «Канаты защищенные в оболочке для предварительно напряженных конструкций. Технические условия» [34] и внести соответствующие изменения в СП 63.13330.2018 [1].

Вместе с тем приходится констатировать, что в России до последнего времени слабо изучена и не до конца освоена технология производства стержневой арматуры с покрытием, нет достаточного объема исследований, соответственно отсутствуют данные по механическим характеристикам и особенностям ее работы в железобетонных конструкциях. Как следствие, отсутствует нормативно-техническая (база) документация, необходимая для проектирования железобетонных конструкций с такой арматурой.

Как уже отмечалось, за рубежом вопросы защиты стальной арматуры решают с помощью нанесения покрытий и применения арматуры из нержавеющей [35] или микролегированной стали (специальные стали) [36]. Экономическую целесообразность применения стойкой к коррозии стальной арматуры показывает сравнительная оценка стоимости (в относительных единицах), выполненная Федеральным управлением автомобильных дорог США (FHWA) (рис. 1).

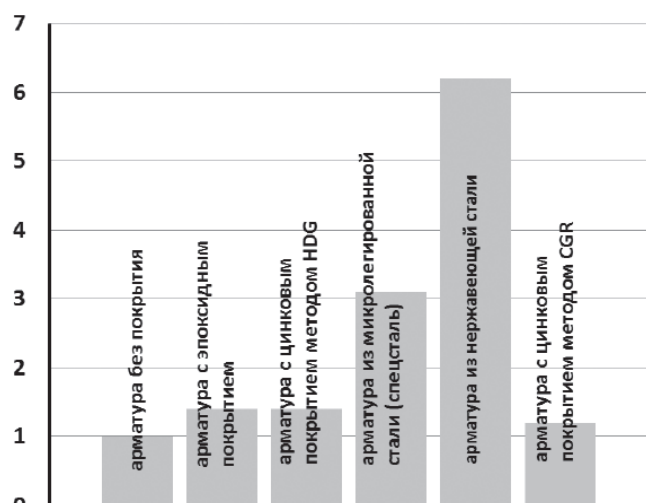


Рис. 1. Сравнительная оценка стоимости арматуры

Fig. 1. Comparative assessment of the cost of reinforcement

Анализ данных рис. 1 показывает, что наименее экономически обоснованным является применение арматуры из нержавеющей стали и из микролегированных специальных сталей за счет содержания в составе дорогостоящих легирующих элементов.

Поэтому на данном этапе исследований по экономическим соображениям вопросы применения арматуры из нержавеющей и микролегированной стали, очевидно, не являются первостепенными. Соответственно, в части перспектив внедрения арматуры, стойкой к агрессивным воздействиям, вопросы применения нержавеющей и микролегированной стали на данном этапе решено не рассматривать.

Увеличение себестоимости арматуры с цинковыми и полимерными покрытиями до 20 % по сравнению с обычной арматурой видится более перспективным, так как такое удорожание компенсируется за счет существенного повышения межремонтного срока службы железобетонных конструкций. При этом фактическое удорожание стоимости проекта в целом составляет 3–5 %. В дальнейшей эксплуатации даже достигается экономический эффект от использования арматуры с покрытием за счет многократного повышения межремонтного срока службы конструкции.

С учетом изложенного проанализируем вопросы внедрения арматуры с защитными покрытиями. За рубежом практическое использование стальной арматуры с покрытиями началось с середины 1970-х годов. За прошедшее время построено большое количество мостов, причалов, паркингов и других сооружений, контактирующих с агрессивной средой.

Анализ зарубежных данных показывает, что наиболее распространено применение следующих покрытий, которые наносятся на стальную арматуру в заводских условиях:

– **порошковое полимерное покрытие на основе эпоксидных смол** (на англ. языке применяется термин **epoxy coated rebar** – сокр. **ECR**), технологический процесс выполнения которого состоит из предварительной пескоструйной обработки арматуры, последующего индукционного нагрева, порошкового напыления смолы, ее полимеризации и охлаждения покрытой арматуры.

– **горячее цинкование** (на англ. языке применяется термин **hot-dip galvanized rebar** – сокр. **HDG**), которое состоит из этапов подготовки поверхности арматуры перед цинкованием, сушки перед погружением в ванну цинкования, собственно цинкования, последующего охлаждения и контроля. Основным недостатком метода горячего цинкования (HDG) является возможное водородное охрупчивание высокопрочного арматурного проката с временным сопротивлением более 800–1000 МПа.

– **непрерывное горячее цинкование** (на англ. языке применяется термин **continuous galvanized rebar** – сокр. **CGR**), технологический процесс которого состоит из пескоструйной обработки арматуры, химической подготовки арматуры для последующего индукционного нагрева, непосредственно самого индукционного нагрева, прохождения арматуры через желоба с расплавленным цинком, последующего удаления излишков цинка с завершающим охлаждением арматуры.

Это более совершенная технология нанесения цинкового покрытия на арматуру. Данный метод обеспечивает экономный расход цинка по сравнению с традиционным методом горячего цинкования за счет быстрой непрерывной и равномерной обработки, которая приводит к уменьшению массы покрытия и снижению издержек для производства. За счет добавления в небольшом количестве алюминия покрытие быстрее пассивируется, корродирует с меньшей скоростью и выделяет меньше продуктов коррозии цинка, чем обычные покрытия, выполненные горячим цинкованием [11]. Покрытие, выполненное по технологии CGR, имеет толщину не более 50 мкм и эквивалентно по своим защитным свойствам более толстому покрытию, выполненному по технологии HDG.

– **двойное покрытие с использованием цинкования и нанесения порошкового полимерного покрытия** (на англ. языке применяется термин **dual coated rebar** – сокр. **DCR**) – технологический процесс, который состоит из последовательного нанесения друг на друга цинкового и порошкового полимерного покрытия.

Возрастающие объемы производства стальной арматуры с защитными покрытиями за рубежом связаны, в первую очередь, с доказанной экономической эффективностью применения и развитой нормативно-технической базой за счет большого количества исследований как долговечности самих покрытий, так и особенностей работы такой арматуры в железобетонных конструкциях.

Исследования показывают более высокую стойкость к агрессивным средам арматуры с покрытиями по сравнению с обычной арматурой [12, 13, 27]. Сравнительные испытания разных покрытий между собой показывают различную долговечность и недостатки того или иного покрытия. Например, в работах [14, 25] и ряде других указывается, что толщина цинкового покрытия в хлоридных средах с течением времени уменьшается.

В ряде исследований было установлено, что арматура с эпоксидным покрытием склонна к механическим повреждениям покрытия при транспортно-складских операциях и во время установки в опалубку.

Кроме этого, использование покрытий на основе эпоксидных составов предъявляет особые требования к технологии производства арматурных работ. Работы необходимо выполнять при температуре не ниже +10 °С, не допускается хранение арматуры под прямым воздействием солнечного света, во избежание появления трещин на покрытии необходимо применять увеличенные диаметры оправок для гнутых стержней, при выполнении арматурных работ следует использовать вязальную проволоку в защитной оболочке, а также соблюдать определенные меры предосторожности при транспортировке во избежание повреждения покрытия.

Вместе с тем исследования совместной работы стальной арматуры с различными покрытиями и бетона выявили снижение прочности сцепления. Так, эпоксидные покрытия в некоторых случаях снижают прочность сцепления арматуры с бетоном до 40 % [17–19, 22]. Степень снижения прочности сцепления арматуры с эпоксидным покрытием зависит от множества факторов, включая диаметр арматуры, относительную площадь смятия поперечных ребер f_R , степень адгезии покрытия к арматуре и толщину самого покрытия [15, 20, 21].

Если снижение прочности сцепления арматуры с эпоксидным покрытием наблюдается во всех исследованиях, то для арматуры с цинковым покрытием ситуация иная. Так, результаты испытаний показали отсутствие разницы в прочности сцепления обычной арматуры и арматуры с цинковым покрытием. Вместе с тем указывается на влияние неравномерной толщины оцинкованного покрытия между поперечными ребрами арматуры, что привело к снижению прочности сцепления арматуры с бетоном. Однако большинство исследований [16, 26] и ряд других, наоборот, указывают, что прочность сцепления арматуры с цинковым покрытием даже выше по сравнению с обычной арматурой. Объясняется это тем, что после бетонирования на поверхности покрытия образуется адгезионный слой гидроксицинката кальция (CaH₂Zn), который изменяется в зависимости от pH бетона и служит дополнительной связью между арматурой и бетоном.

Выявленные особенности работы в бетоне арматуры с покрытием отражены в зарубежных нормах,

где применяют различные коэффициенты, учитывающие наличие покрытия на арматуре. Ниже приведены зависимости (1)–(3) для вычисления длины анкеровки арматуры, представленные соответственно в американских нормах проектирования ACI-318 [37], AASHTO “Standard Specifications for Highway Bridges” [38] и в европейском документе Model Code 2010 [39]:

$$l_d = \left(\frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b, \quad (1)$$

где ψ_e – коэффициент, учитывающий вид защитного покрытия на арматуре:

1,2 или 1,5 – для арматуры с эпоксидным покрытием применяется в зависимости от расположения арматуры в конструкции;

1,0 – для арматуры с цинковым покрытием и без покрытия.

$$l_d = \frac{0,04 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0,0004 d_b f_y. \quad (2)$$

В данном случае к вычисленной длине анкеровки по формуле (2) применяются повышающие коэффициенты 1,15 или 1,5 в зависимости от расположения арматуры с эпоксидным покрытием в конструкции.

$$l_b = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \geq l_{b,min}, \quad (3)$$

где f_{bd} – предельная прочность (напряжения) сцепления арматуры с бетоном

$$f_{bd} = (\alpha_2 + \alpha_3) f_{bd,0} - 2 p_{tr} / \gamma_c < 2,0 f_{bd,0} - 0,4 p_{tr} / \gamma_c < 1,5 (\sqrt{f_{ck}}) / \gamma_c,$$

где α_2 – коэффициент, учитывающий расположение арматуры с эпоксидным покрытием

$$\alpha_2 = (c_{min} / \phi)^{0,8} \cdot (c_{max} / c_{min})^{0,15}$$

$f_{bd,0}$ – базовая прочность (напряжения) сцепления арматуры

$$f_{bd,0} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 (f_{ck} / 25)^{0,5} / \gamma_c,$$

где η_1 – коэффициент, учитывающий вид поверхности арматуры:

1,75 – для арматуры периодического профиля, включая оцинкованную арматуру и арматуру из нержавеющей стали;

1,4 – для арматуры с эпоксидным покрытием.

В представленной далее зависимости (4) из EN 1992-1-1 “Eurocode 2: Design of concrete structures” [40] и формуле (5) из СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1] при вычислении длины анкеровки коэффициенты, учитывающие особенности работы покрытой арматуры в бетоне, не представлены:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}, \quad (4)$$

где $l_{b,rqd}$ – базовая длина анкеровки арматуры

$$l_{b,reqd} = \left(\frac{\phi}{4}\right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right),$$

где f_{bd} – базовая прочность (напряжения) сцепления арматуры

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd}$$

$$l_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s}, \quad (5)$$

где R_{bond} – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}.$$

Анализ формул (1)–(3) ACI, AASHTO и Model Code [37–39] показывает, что применяемые коэффициенты приводят к увеличению длины анкеровки арматуры с эпоксидным покрытием до 50 % и зависят от диаметра арматуры, прочности бетона и расположения арматуры в конструкции. Для арматуры с цинковым покрытием длина анкеровки соответствует обычной арматуре.

Из приведенных рассуждений следует, что теоретически, при наличии соответствующих исследований и разработки нормативно-технической базы, перспективы производства и внедрения арматуры с цинковыми покрытиями являются наиболее многообещающими, имея в виду как близкие к обычной арматуре ее характеристики сцепления, так и отсутствие возможных повреждений, которые характерны для арматуры с эпоксидным покрытием.

Выводы

Учитывая, что для целого ряда конструкций по условиям имеющихся сред эксплуатации применение арматуры с покрытиями является необходимым, то соответственно возникает задача по осуществлению внедрения данной арматуры в практику строительства.

Для решения этой задачи необходимо выполнить следующий комплекс НИР и НИОКР:

- Мониторинг и анализ зарубежных и отечественных нормативных и технических документов, устанавливающих требования к арматуре с защитными покрытиями, требования к ее производству, методам приемки и контроля с целью установления состава перспективных НИР/НИОКР по установлению основных технических требований для арматуры с покрытием.

- Исследования качества защитных покрытий арматуры в части обеспечения требуемой толщины, равномерности распределения по наружной поверхности гладкой арматуры и арматуры периодического профиля и адгезии покрытий к поверхности арматуры с разработкой предложений для составления проектов стандартов по техническим условиям на стержневую арматуру с покрытиями.

- Научно-техническое сопровождение по отработке технологии нанесения защитных покрытий на

арматуру в условиях производства на металлургических комбинатах и смежных предприятиях для получения покрытий требуемого качества в соответствии с разработанными проектами технических условий.

- Исследования долговечности покрытий арматуры с различными качественными характеристиками составов покрытий в условиях влияния различных сред эксплуатации, а также при совместной работе с бетоном с последующей разработкой предложений по условиям применения арматуры с покрытиями для учета при составлении проекта нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций с арматурой, имеющей защитное покрытие.

- Комплексные исследования механических свойств арматуры с защитными покрытиями и требуемых показателей качества покрытий с целью установления нормируемых и контролируемых показателей качества покрытий и с целью разработки предложений для составления проектов стандартов на методы испытаний и приемки арматуры с покрытиями.

- Исследования прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных элементов с арматурой с покрытием для дальнейшего учета при составлении проекта нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций с арматурой, имеющей защитное покрытие.

- Исследования сцепления арматуры с бетоном с различными параметрами покрытий и без покрытий с составлением предложений по расчету длины анкеровки арматуры с бетоном для последующего учета в проекте нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций с арматурой, имеющей защитное покрытие.

По результатам перечисленных исследований на первом этапе работ необходимо будет разработать проекты нижеследующих нормативно-технических документов по классификации арматуры по виду покрытий, а также по внедрению арматуры с цинковым покрытием, которая на основании изложенных выше рассуждений на данном этапе состояния исследований представляется наиболее приемлемой для внедрения:

- ГОСТ «Прокат арматурный с защитными покрытиями для железобетонных конструкций. Классификация»;

- ГОСТ «Прокат арматурный с цинковым покрытием для железобетонных конструкций. Технические условия»;

- ГОСТ «Прокат арматурный с цинковым покрытием для железобетонных конструкций. Методы испытаний и правила приемки»;

- СТО «Железобетонные конструкции с арматурой с цинковым покрытием. Правила проектирования»;

- Методические пособия и указания, разработанные в развитие указанных стандартов.

1. Современная практика строительства железобетонных зданий и сооружений в условиях воздействия различных неблагоприятных сред эксплуатации показывает необходимость получения соответствующих проектных решений, для которых обеспечивается требуемая долговечность железобетонных конструкций. Одним из путей повышения долговечности железобетонных конструкций является применение стальной арматуры с защитными покрытиями.

2. Для внедрения конструкций с защитными покрытиями арматуры предложен комплекс научно-исследовательских работ, на основании которого будет подготовлена первоочередная нормативно-техническая база для внедрения в производство и практику проектирования арматурного проката с защитным покрытием и железобетонных конструкций повышенной долговечности на их основе.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Росстандарт; 2019.

2. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Москва: Росстандарт; 2018.

3. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Москва: Росстандарт; 2017.

4. СП 72.13330.2016. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. Москва: Росстандарт; 2017.

5. Отчет по поисковой теме: 13-3.1.5-92 «Провести исследования и разработать предложения по оптимизации составов и способов нанесения антикоррозионных покрытий на термомеханически упрочненную стержневую арматуру в условиях металлургического завода. Москва: НИИЖБ; 1992. 53 с.

6. Заключение по свойствам эпоксидного покрытия «Scotchkote-215» производства фирмы «3М» для арматуры железобетонных конструкций по предлагаемым областям его применения. Москва: НИИЖБ; 1996. 14 с.

7. Кравченко Т.Г., Алексеев С.Н. Железобетонные конструкции с оцинкованной арматурой // *Бетон и железобетон*. 1981. № 6. С. 25.

8. Стругова Ю.Н. Исследование коррозионного поведения оцинкованной арматуры в условиях контактирования с бетоном. Дисс... канд. техн. наук. Москва; 1970. 143 с.

9. Заренин С.В. Полимерные защитные покрытия стальных связей и арматуры железобетонных конструкций. Дисс... канд. техн. наук. Москва; 1985. 159 с.

10. Баланчук В.Д. Порошковая технология полимерных покрытий для защиты от коррозии арматуры железобетона. Международная конференция «Долговечность и защита конструкций от коррозии. Строительство, реконструкция». Москва; 1999. С. 559–566.

11. Yeomans S.R. Galvanized Reinforcement in Bridge and Coastal Construction. Proc. IABSE 2019 Congress. New York, September 4–6, 2019.

12. Sturgeon W. Joseph, O'Reilly Matthew, Darwin David, Ann Jo. Browning Rapid macrocell tests of ASTM A775, A615, and A1035 reinforcing bars. *Structural Engineering and Engineering Materials*. SL Report 10-4. The University of Kansas Center for Research. 2010.

13. Ogunsanya Ibrahim. Evaluation of the Corrosion Behaviour of Continuously Galvanized Rebar. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2016. 161 p.

14. Clear Kenneth C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs, vol. 4: Galvanized Reinforcing Steel. Interim report. 1981, p. 42.

15. Miller Gerald G., Kepler Jennifer L., Darwin David. Effect of Epoxy Coating Thickness on Bond Strength of Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*. May, 2003, pp. 314–320.

16. Molina L., Javier F., Ruiz F., Alejandro M., et. al. Bond strength of galvanized steel: experimental and numerical study based on pull-out tests. Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering University of Seville. June 24–26, 2015, pp. 143–158.

17. Treece R.A., Jirsa J.O. Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars. *ACI Materials Journal*. March-April, 1989, vol. 86, no. 2.

18. Hamad Bilal S., Jirsa James O., D'Abreu d Paolo Natalie I. Effect of epoxy coating on bond and anchorage of reinforcement in concrete structures. Research Report. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. December, 1990. 264 p.

19. Grundhoffer T., French C., Leon R., Bond behavior of uncoated and epoxy-coated reinforcement in concrete. Final Report. University of Minnesota Center of Transportation Studies and National Science Foundation. May, 1992. 233 p.

20. Choi O.C., Hadje-Ghaffari H., Darwin D., McCabe S.L. Bond of epoxy-coated reinforcement: bar parameters. *ACI Materials Journal*. 88 (Compendex), pp. 207–217.

21. Cairns J., Abdullah R.B. Influence of rib geometry on strength of epoxy-coated reinforcement. *ACI Structural Journal*. 1995, vol. 92, iss. 7, pp. 23–27.

22. Cairns J., Abdullah R. Fundamental tests on the effect of an epoxy coating on bond strength. *ACI Materials Journal*. 1994, vol. 91, iss. 4, pp. 331–338.

23. Kayali O., Yeomans S.R. Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2000, vol. 22, iss. 6, pp. 459–467. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00049-4)

24. Sistonen E., Tukiainen P., Huovinen S. Bonding of Hot Dip Galvanised Reinforcement in Concrete, Nordic Concrete Research; Publication no. 34, 2/2005, The Nordic Concrete Federation, Oslo, Norway, 2005, pp. 1–14.

25. Kobayashi K., Takewaka K. Experimental Studies of Epoxy-Coated Reinforcing Steel for Corrosion Protection. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1984, vol. 6, no. 2, pp. 99–116. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(84)90039-3)

26. Yeomans S.R. *Galvanized Steel Reinforcement in Concrete*. Elsevier Ltd, Oxford. 2004, p. 316.

27. Yeomans S.R. Performance of Black, Galvanized, and Epoxy-Coated Reinforcing Steels in Chloride-Contaminated Concrete. *Corrosion*. 1994, vol. 50, iss. 1, pp. 72–81. <https://doi.org/10.5006/1.3293496>

28. ASTM A775/A775M-22. Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars.

29. ASTM A767/A767M-19. Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement.

30. ASTM A1094/A1094M-20. Standard Specification for Continuous Hot-Dip Galvanized Steel Bars for Concrete Reinforcement.

31. ASTM A1055/A1055M-16. Standard Specification for Zinc and Epoxy Dual-Coated Steel Reinforcing Bars.

32. ISO 14654:1999. Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete.

33. ISO 14657:2005. Zinc-coated steel for the reinforcement of concrete.

34. ГОСТ Р 58386-2019. Канаты защищенные в оболочке для предварительно напряженных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.

35. ASTM A955/A995M-20c. Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement.

36. A1035/A1035M-20. Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement.

37. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.

38. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., 2002.

39. *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, Switzerland, 2013.

40. EN 1992-1-1. 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004.

References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Moscow: Rosstandart; 2019. (In Russian).

2. State Standard 31384-2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General technical requirements. Moscow: Rosstandart; 2018. (In Russian).

3. SP 28.13330.2017. Protection of building structures

from corrosion. Updated version of SNiP 2.03.11-85. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

4. SP 72.13330.2016. Protection of buildings, facilities and structures against corrosion. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

5. Report on the search topic: 13-3.1.5-92 “To conduct research and develop proposals for optimizing the compositions and methods for applying anti-corrosion coatings on thermomechanically hardened rod reinforcement in a metallurgical plant. Moscow: NIIZHB; 1992. 53 p. (In Russian).

6. Conclusion on the properties of the epoxy coating “Scotchkote-215” manufactured by the company “3M” for reinforcement of reinforced concrete structures in the proposed areas of its application. Moscow: NIIZHB; 1996. 14 p. (In Russian).

7. Kravchenko T.G., Alekseev S.N. Reinforced concrete structures with galvanized reinforcement. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1981, no. 6, p. 25. (In Russian).

8. Strugova Yu.N. Investigation of the corrosion behavior of galvanized reinforcement in contact with concrete. Diss... Cand. Sci. (Eng.). Moscow; 1970. 143 p. (In Russian).

9. Zarenin S.V. Polymer protective coatings of steel ties and reinforcement of reinforced concrete structures. Diss... Cand. Sci. (Eng.). Moscow; 1985. 159 p. (In Russian).

10. Balanchuk V.D. Powder technology of polymer coatings for corrosion protection of reinforced concrete reinforcement. International Conference “Durability and corrosion protection of structures. Construction, reconstruction”. Moscow; 1999. Pp. 559–566. (In Russian).

11. Yeomans S.R. Galvanized Reinforcement in Bridge and Coastal Construction. Proc. IABSE 2019 Congress. New York, September 4–6, 2019.

12. Sturgeon W. Joseph, O'Reilly Matthew, Darwin David, Ann Jo. Browning Rapid macrocell tests of ASTM A775, A615, and A1035 reinforcing bars. *Structural Engineering and Engineering Materials*. SL Report 10-4. The University of Kansas Center for Research. 2010.

13. Ogunsanya Ibrahim. Evaluation of the Corrosion Behaviour of Continuously Galvanized Rebar. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2016. 161 p.

14. Clear Kenneth C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs, vol. 4: Galvanized Reinforcing Steel. Interim report. 1981, p. 42.

15. Miller Gerald G., Kepler Jennifer L., Darwin David. Effect of Epoxy Coating Thickness on Bond Strength of Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*. May, 2003, pp. 314–320.

16. Molina L., Javier F., Ruiz F., Alejandro M., et. al. Bond strength of galvanized steel: experimental and

numerical study based on pull-out tests. Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering University of Seville. June 24–26, 2015, pp. 143–158.

17. Treece R.A., Jirsa J.O. Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars. *ACI Materials Journal*. March-April, 1989, vol. 86, no. 2.

18. Hamad Bilal S., Jirsa James O., D'Abreu d Paolo Natalie I. Effect of epoxy coating on bond and anchorage of reinforcement in concrete structures. Research Report. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. December, 1990. 264 p.

19. Grundhoffer T., French C., Leon R. Bond behavior of uncoated and epoxy-coated reinforcement in concrete. Final Report. University of Minnesota Center of Transportation Studies and National Science Foundation. May, 1992. 233 p.

20. Choi O.C., Hadje-Ghaffari H., Darwin D., McCabe S.L. Bond of epoxy-coated reinforcement: bar parameters. *ACI Materials Journal*. 88 (Compendex), pp. 207–217.

21. Cairns J., Abdullah R.B. Influence of rib geometry on strength of epoxy-coated reinforcement. *ACI Structural Journal*. 1995, vol. 92, iss. 7, pp. 23–27.

22. Cairns J., Abdullah R. Fundamental tests on the effect of an epoxy coating on bond strength. *ACI Materials Journal*. 1994, vol. 91, iss. 4, pp. 331–338.

23. Kayali O., Yeomans S.R. Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2000, vol. 22, iss. 6, pp. 459–467. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00049-4)

24. Sistonen E., Tukiainen P., Huovinen S. Bonding of Hot Dip Galvanised Reinforcement in Concrete, Nordic Concrete Research; Publication no. 34, 2/2005, The Nordic Concrete Federation, Oslo, Norway, 2005, pp. 1–14.

25. Kobayashi K., Takewaka K. Experimental Studies of Epoxy-Coated Reinforcing Steel for Corrosion Protection. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1984, vol. 6, no. 2, pp. 99–116. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(84)90039-3)

26. Yeomans S.R. Galvanized Steel Reinforcement in Concrete. Elsevier Ltd, Oxford. 2004, p. 316.

27. Yeomans S.R. Performance of Black, Galvanized, and Epoxy-Coated Reinforcing Steels in Chloride-Contaminated Concrete. *Corrosion*. 1994, vol. 50, iss. 1, pp. 72–81. <https://doi.org/10.5006/1.3293496>

28. ASTM A775/A775M-22. Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars.

29. ASTM A767/A767M-19. Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement.

30. ASTM A1094/A1094M-20. Standard Specification for Continuous Hot-Dip Galvanized Steel Bars for Concrete Reinforcement.

31. ASTM A1055/A1055M-16. Standard Specification for Zinc and Epoxy Dual-Coated Steel Reinforcing Bars.

32. ISO 14654:1999. Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete.

33. ISO 14657:2005. Zinc-coated steel for the reinforcement of concrete.

34. State Standard R 58386-2019. Ropes protected in a shell for prestressed structures. Technical conditions. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russian).

35. ASTM A955/A995M-20c. Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement.

36. A1035/A1035M-20. Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement.

37. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.

38. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., 2002.

39. fib Model Code for Concrete Structures 2010. International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, Switzerland, 2013.

40. EN 1992-1-1. 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004.

Информация об авторе /

Information about the author

Вячеслав Владимирович Дьячков, канд. техн. наук, заместитель руководителя центра № 3 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: d_vv@mail.ru

Vyacheslav V. Dyachkov, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Centre No. 3 of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: d_vv@mail.ru