

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, Д.С. БАРЯК¹¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

СЦЕПЛЕНИЕ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Аннотация. Рассматривается изменение сцепления арматуры с бетоном в железобетонных конструкциях при одновременном воздействии коррозии и высоких температур. Анализ выполнен с использованием аналитических моделей и данных нормативной литературы для оценки изменений прочностных характеристик арматуры и бетона в условиях повышенной температуры и коррозионных повреждений. Учтены термические и коррозионные воздействия, влияющие на снижение сцепления арматуры, прочности материалов, а также на внутренние напряжения, возникающие из-за различий в коэффициентах теплового расширения, стали и бетона. Показано, что при значительных температурах и высоком уровне коррозии сцепление арматуры с бетоном существенно снижается. Приведенные модели и расчетные зависимости позволяют выполнять предварительную оценку надежности железобетонных конструкций и их огнестойкости в условиях коррозионного воздействия.

Ключевые слова: арматура, коррозия, железобетонные конструкции, сцепление, огнестойкость, высокая температура, прочность бетона.

A.G. TAMRAZYAN¹, D.S. BARYAK¹¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

BONDING OF CORROSION-DAMAGED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS IN CASE OF FIRE IMPACT

Abstract. This paper examines the bond strength between reinforcement and concrete in reinforced concrete structures under combined effects of corrosion and high temperatures. The analysis employs analytical models and regulatory data to evaluate changes in the strength characteristics of reinforcement and concrete under elevated temperatures and corrosion damage. Thermal and corrosion effects influencing bond strength reduction, material strength degradation, and internal stresses due to differences in thermal expansion coefficients of steel and concrete were taken into account. Results indicate that under high temperatures and significant corrosion levels, bond strength between reinforcement and concrete decreases considerably. The presented models and calculation dependencies allow for a preliminary assessment of the reliability and fire resistance of reinforced concrete structures under corrosion conditions.

Keywords: reinforcement, corrosion, reinforced concrete structures, bond strength, fire resistance, high temperature, concrete strength.

Введение

Изменение сцепления арматуры с бетоном в железобетонных конструкциях под воздействием высоких температур и коррозионных повреждений является важной задачей для повышения надежности и огнестойкости конструкций в условиях эксплуатации. Современные модели сцепления, такие как диаграммный метод расчета, учитывают нелинейные деформационные характеристики материалов и изменения прочностных свойств арматуры и бетона под нагрузкой [1–4].

Эти подходы позволяют достоверно оценить взаимодействие арматуры и бетона в различных условиях, однако требуют корректировки для учета специфических воздействий, таких как нагрев и коррозия, действующих одновременно.

Проблема коррозионного повреждения арматуры и его влияния на сцепление с бетоном подробно изучалась в ряде исследований [5–8]. В данных исследованиях продемонстрировано, что коррозия приводит к разрушению контактного слоя бетона и образованию трещин, что снижает сцепление на 15–30 % [9]. Также отмечена зависимость между глубиной коррозионного поражения арматуры и потерей сцепления с бетоном, что приводит к значительному ослаблению несущей способности железобетонных конструкций [10–12].

Температурные воздействия также оказывают существенное влияние на сцепление арматуры с бетоном. В зарубежных исследованиях отмечается, что при температуре выше 500 °С сцепление между арматурой и бетоном может снижаться на 50 % и более [13–15]. В данных работах также подчеркивается, что термическое разложение материалов приводит к значительным изменениям прочностных характеристик железобетонных конструкций, что необходимо учитывать при проектировании на огнестойкость [16, 17].

Комплексное влияние коррозии и высоких температур на железобетонные конструкции остается недостаточно изученным, хотя известны данные о снижении прочности бетона и модуля упругости арматуры под воздействием этих факторов [18–20]. Эти аспекты требуют разработки корректных расчетных моделей, позволяющих оценить сцепление арматуры и бетона с учетом теплового расширения и коррозии [7, 21–24].

В данной работе приводятся модели и зависимости для оценки сцепления арматуры с бетоном в условиях высоких температур и коррозии.

Модели и методы исследования

Для анализа и эксперимента предлагаются зависимости изменения сцепления арматуры с бетоном. Экспериментальные исследования проводятся для железобетонных колонн сечением 150×150 мм и высотой 1200 мм, армированных продольной арматурой диаметром 12 мм класса А500С и поперечной арматурой диаметром 6 мм с шагом 200 мм. В качестве метода коррозионного воздействия применяется ускоренная коррозия, позволяющая достигать контролируемого уровня повреждений, аналогичных тем, которые наблюдаются в конструкциях при долговременной эксплуатации [5, 6]. С ростом уровня коррозии снижение сцепления становится более значительным, поскольку контактная площадь между арматурой и бетоном уменьшается более чем пропорционально. Предложенные зависимости построены на обоснованных допущениях, что уменьшение поперечного сечения арматуры на 15 % и 30 % приведет к различным уровням снижения сцепления, которые соответствуют расчетным значениям в предыдущих исследованиях [7, 9]. Такой подход предполагает применение моделей с учетом стадий износа, характерных для железобетонных конструкций.

Для определения вышеописанных зависимостей, опытные образцы в течение 30 минут будут подвергаться нагреву в огневой камере согласно стандартному режиму пожара по ГОСТ 30247.0-94, характеризуемый следующей зависимостью:

$$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1), \quad (1)$$

где T - температура в печи, соответствующая времени t , °С;

T_0 - температура в печи до начала теплового воздействия (принимают равной температуре окружающей среды), °С;

t - время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Во время огневых испытаний к образцам прикладывается нагрузка равная 60% от разрушающей. Это время и температурное воздействие рассчитаны для создания условий, максимально приближенных к реальным эксплуатационным нагрузкам в случае пожара [13, 14]. Снижение сцепления при таком нагреве значительно [10]. Расчетные значения несущей

способности при условии, что арматура, испытывающая наибольшее тепловое воздействие, теряет часть несущей способности, пропорциональны температуре и степени коррозии.

Продукты коррозии, особенно при нагреве, увеличиваются в объеме, что создаёт дополнительное давление на защитный слой бетона [6, 7]. При температуре нагрева продукты коррозии переходят в менее плотные модификации, которые, расширяясь, оказывают значительное давление на бетон, что способствует образованию и раскрытию трещин [8, 11].

Тепловое расширение арматуры и бетона также учитывается как значимый фактор, так как различие в коэффициентах линейного расширения стали и бетона вызывает внутренние напряжения на границе раздела материалов. Температурное расширение рассчитывается по формуле:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot T, \quad (2)$$

где:

ΔL — изменение длины, мм;

L_0 — начальная длина, мм;

α — коэффициент линейного температурного расширения (для стали $\alpha_s \approx 1.2 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$, для бетона $\alpha_b \approx 1.0 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ [13]).

Разница в температурных расширениях стали и бетона способствует снижению сцепления при нагреве и увеличению внутренних напряжений на границе контакта материалов (появление растрескивания и разрыву контактной зоны), что также учитывается в модели [9]. При небольших температурах дополнительные усилия в зоне контакта могут увеличить сцепление, за счет более сильного обжатия арматуры бетоном, однако при росте температуры этот фактор нивелируется.

В результате учета негативных факторов, связанных с влиянием температуры на сцепление, проведена попытка прогнозирования функции, наиболее близко описывающей экспериментальные данные (рисунок 1).

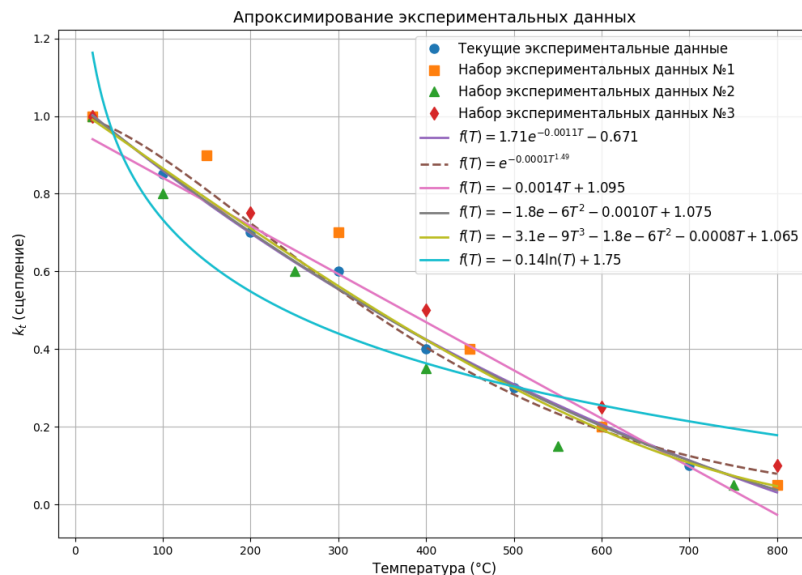


Рисунок 1 — Аппроксимация экспериментальных данных зависимости сцепления от температуры

Давление продуктов коррозии также нелинейно влияет на сцепление. Приближенно рассматриваются три стадии:

1. На ранней стадии коррозии сцепление между арматурой и бетоном увеличивается. Это связано с тем, что продукты коррозии заполняют поры бетона вокруг

арматуры, создавая дополнительное механическое сцепление. Формула может быть представлена как линейная функция:

$$k_{c1} = 1 + \alpha_{c1} \cdot C, \quad (3)$$

где α_{c1} — эмпирический коэффициент на первой стадии.

2. При достижении критической степени коррозии, сцепление начинает уменьшаться. Это связано с разрушением контактного слоя из-за растрескивания и уменьшением диаметра арматуры. Уменьшение сцепления в этой стадии может быть линейным:

$$k_{c2} = k_{max} - \alpha_{c2} \cdot (C - C_{pk}), \quad (4)$$

где C_{pk} — это критический уровень коррозии арматуры, при котором сцепление между арматурой и бетоном достигает своего максимального значения (примерно 3-5%),

α_{c2} — эмпирический коэффициент на второй стадии.

3. На поздней стадии сцепление уменьшается резко и нелинейно. Это связано с сильным повреждением бетона, потерей связности и полной деградацией арматуры.

Формула может быть представлена как экспоненциальная:

$$k_{c3} = k_{res} \cdot \exp(-\alpha_3 \cdot C), \quad (5)$$

где k_{res} — остаточная доля сцепления,

α_{c2} — эмпирический коэффициент на второй стадии.

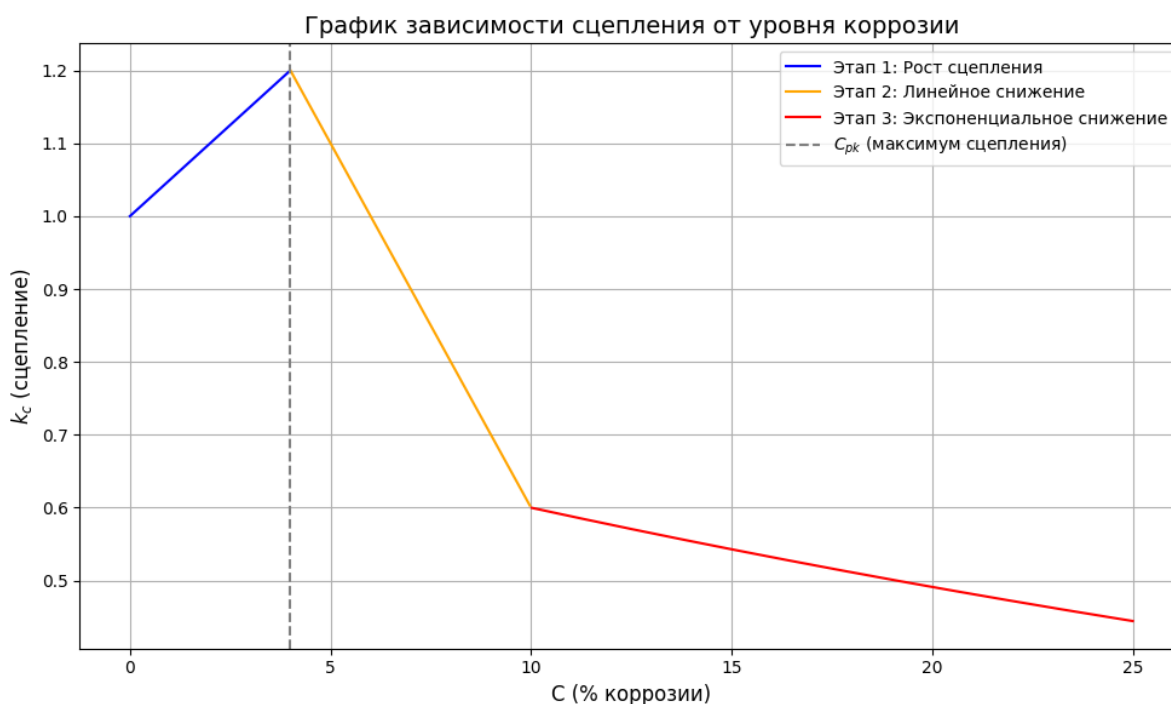


Рисунок 2 — График изменения прочности сцепления в зависимости от коррозии

По аналогии с влиянием температуры, для упрощенного прогнозирования изменений сцепления, подобрана единая функция на весь интервал.

Предлагается сцепление арматуры с бетоном при воздействии коррозии и высоких температур в общем виде описывать на основе следующей модели:

$$\tau(T, C) = \tau_0 \cdot f(-\alpha_T \cdot T^a) \cdot (1 - \alpha_C \cdot C)^b, \quad (6)$$

где:

$\tau(T, C)$ — сцепление арматуры с бетоном при температуре T и уровне коррозии C , МПа;

τ_0 — начальное сцепление арматуры с бетоном при нормальных условиях (20 °С и без коррозии), МПа;

f – обозначение неопределенной зависимости скорости уменьшения сцепления от температуры;

α_T — температурный коэффициент снижения сцепления;

α_C — коэффициент снижения сцепления из-за коррозии, зависящий от степени повреждения арматуры;

a – степенной параметр, учитывающий нелинейное увеличение влияния температуры на сцепление (особенно для температур свыше 300-400°C);

b – степенной параметр, описывающий нелинейное ослабление сцепления при прогрессирующей коррозии.

В данной работе, на основе вышеуказанной общей модели, предлагается следующая зависимость:

$$\tau(T, C) = \tau_0 \cdot \exp(-0,0011 \cdot T^{1,2}) \cdot (1 - 0,02 \cdot C)^2 \quad (7)$$

Эта модель основана на данных других исследований и нормативных документах и предполагает, что при температуре выше 500 °С сцепление арматуры с бетоном падает более чем на 50 % [12]. Такой подход позволяет оценить возможное снижение сцепления и его зависимость от уровня коррозии и температуры.

Ниже приведен график (рис.3) изменений сцепления для арматуры и бетона при различных температурных воздействиях и уровнях коррозии:

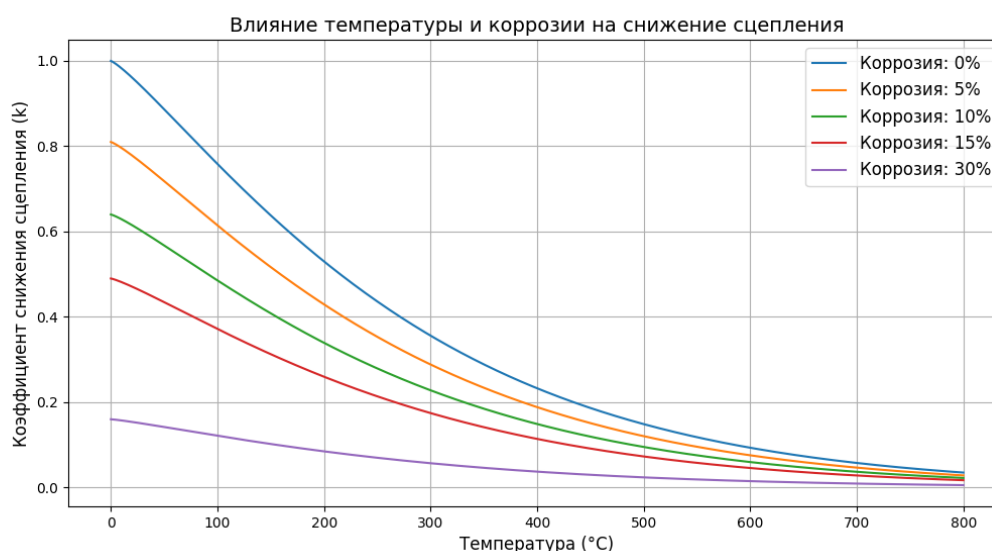


Рисунок 3 —График зависимости коэффициента снижения сцепления от температуры прогрева и процента коррозионных повреждений арматуры

Результаты исследования и их анализ

Представленные зависимости и расчетные модели позволяют дать количественную оценку изменения сцепления арматуры с бетоном в условиях воздействия высоких температур и коррозии. Анализ показал следующие ключевые результаты:

1. Температурные и коррозионные коэффициенты (α_T и α_C) демонстрируют ограниченную применимость для конструкций с начальными несовершенствами. Эксперименты подтверждают значительное влияние неоднородностей материала на сцепление.
2. Физическая нелинейность железобетонной конструкции влияет на распределение температуры в сечении конструкций. Это приводит к локальным изменениям

прочностных характеристик арматуры и бетона, что особенно важно при оценке сцепления в реальных условиях эксплуатации.

3. Условия эксплуатации, например избыточная влажность или агрессивность среды, усиливают коррозионные процессы, что требует коррекции расчетных моделей для прогнозирования сцепления.

Полученные данные подчеркивают необходимость уточнения расчетных моделей. Результаты экспериментов подтвердили, что при температуре выше 500 °С сцепление снижается более чем на 50 %. Прогнозируемые зависимости могут применяться для предварительных расчетов несущей способности конструкций, что улучшает их проектирование и обследование.

Выводы

1. Сцепление арматуры с бетоном значительно уменьшается при температуре выше 500 °С, особенно в сочетании с коррозией. При 15 % и 30 % повреждении арматуры прогнозируемое снижение сцепления может превышать 50 %. Однако с увеличением процента коррозии модель прогнозирует все меньшее сцепление, что не совсем соответствует реальности, так как сцепление стремится к нулю при определенной температуре, а не бесконечно уменьшается.
2. Представленная модель идеализировано описывает зависимости сцепления, что не полностью отражает реальность. Рост температуры и коррозии характеризуется нелинейными изменениями, включая изломы на графике (как было доказано на примере коррозии – три стадии изменения сцепления).
3. Прочность бетона и арматуры при повышении температуры снижается на 20–30 % при 300 °С и на 50 % и более при 500 °С и выше, что подтверждает необходимость учета высокотемпературных эффектов в расчетах.
4. Различие коэффициентов теплового расширения стали (α_s) и бетона (α_b) создает дополнительные внутренние напряжения, которые усиливают разрушение контактной зоны, снижая сцепление. Эти напряжения особенно значимы в условиях высоких температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г., Лушникова В.Ю. Влияние коррозии арматуры на сцепление между арматурой и бетоном // Magazine of Civil Engineering. 2018. Вып. 4(80). С. 203–212.
2. Минеев М.С. Исследование параметров сцепления арматуры в бетоне для его оценки при коррозии // Научный журнал НИУ МГСУ. 2018. № 3. С. 45–52.
3. Бенин А.В., Семенов А.С., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. Математическое моделирование процесса разрушения сцепления арматуры с бетоном. Часть 1. Модели с учетом несплошности соединения // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 1. С. 20–28.
4. Ma Q., Guo R., Zhao Z., Lin Z., He K. Mechanical properties of concrete at high temperature—A review // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 93. Pp. 371–383.
5. Окольников Г.Э., Тихонов Г.И. Сцепление с бетоном новых видов арматурного проката для строительства // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, Вып. 21, №2, 2020, С. 144–152.
6. Andrade C., Alonso C. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method // Materials and Structures. 2004. Vol. 37. Pp. 623–633.
7. Bertolini L., Elsener B., Pedersen P., Redaelli E., Polder R.B. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair. Wiley, 2013. 434 p.
8. Saad M., Abo-El-Enein S.A., Hanna G.B., Kotkata M.F. Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume // Cement and Concrete Research. 1996. Vol. 26, No. 5. Pp. 669–675.
9. Bertolini L. Steel corrosion and service life of reinforced concrete structures // Structure and Infrastructure Engineering. 2008. Vol. 4, No. 2. Pp. 123–137.
10. Lin W.M., Lin T.D., Powers-Couche L.J. Microstructures of fire-damaged concrete // ACI Materials Journal. 1996. Vol. 93, No. 3. Pp. 199–205.

11. Ozawa M., Uchida S., Kamada T., Morimoto H. Study of mechanisms of explosive spalling in high-strength concrete at high temperatures using acoustic emission // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37. Pp. 621–628.
12. Neville A.M. *Properties of Concrete*. 5th ed. Pearson, 2011. 846 p.
13. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2013. 704 p.
14. Tuutti K. *Corrosion of steel in concrete*. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. 468 p.
15. Angst U., Elsener B., Larsen C.K., Vennesland Ø. Critical chloride content in reinforced concrete – A review // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39, No. 12. Pp. 1122–1138.
16. Consolazio G.R., McVay M.C., Rish J.W. III. Measurement and prediction of pore pressures in saturated cement mortar subjected to radiant heating // *ACI Materials Journal*. 1998. Vol. 95, No. 5. Pp. 525–536.
17. ACI Committee 222. *Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*. ACI 222R-01. American Concrete Institute, 2001. 41 p.
18. Попов А.М., Самошкин А.С., Тихомиров В.М. Методы исследования взаимодействия арматуры с бетоном часть 1. Экспериментальные и аналитические методы // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*, № 2 (57), 2021, С. 53-60.
19. Angst U., Polder R., Bertolini L. *Corrosion in reinforced concrete structures: Mechanisms and strategies*. CRC Press, 2017. 375 p.
20. Тамразян А.Г. Несущая способность коррозионно-поврежденных изгибаемых железобетонных элементов, подвергнутых огневому воздействию. *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 4. С. 130-137.
21. Тамразян А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий. *Жилищное строительство*. 2005. № 1. С. 7. 43
22. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость.
23. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: *MATEC Web of Conferences*. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029
24. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures. В сборнике: *XXV Polish – Russian – Slovak Seminar "Theoretical Foundation of Civil Engineering"*. Сер. "Procedia Engineering" 2016. С. 721-725.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Lushnikova V.Yu. Vliyanie korrozii armatury na stseplenie mezhdu armaturoy i betonom [Influence of corrosion on the bond strength between reinforcement and concrete]. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 4(80). Pp. 203–212. (rus)
2. Mineev M.S. Issledovanie parametrov stsepleniya armatury v betone dlya ego otsenki pri korrozii [Study of parameters of reinforcement-to-concrete bond strength for its assessment under corrosion]. *Nauchnyy zhurnal NIU MGSU*. 2018. No. 3. Pp. 45–52. (rus).
3. Benin A.V., Semyonov A.S., Semyonov S.G., Melnikov B.E. Matematicheskoe modelirovanie protsessa razrusheniya stsepleniya armatury s betonom. Chast' 1. Modeli s uchetom nesploshnosti soedineniya [Mathematical modeling of the process of reinforcement-to-concrete bond failure. Part 1. Models considering discontinuity of the joint]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2014. No. 1. Pp. 20–28. (rus).
4. Ma Q., Guo R., Zhao Z., Lin Z., He K. Mechanical properties of concrete at high temperature—A review // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 93. Pp. 371–383.
5. Okolnikova G.E., Tikhonov G.I. Stseplenie s betonom novykh vidov armaturnogo prokata dlya stroitel'stva [Bond strength with concrete of new types of reinforcing steel for construction] // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya, Vyp. 21, №2, 2020, S. 144-152* (rus).
6. Andrade C., Alonso C. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method // *Materials and Structures*. 2004. Vol. 37. Pp. 623–633.
7. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Redaelli E., Polder R.B. *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Wiley, 2013. 434 p.
8. Saad M., Abo-El-Enein S.A., Hanna G.B., Kotkata M.F. Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume // *Cement and Concrete Research*. 1996. Vol. 26, No. 5. Pp. 669–675.
9. Bertolini L. Steel corrosion and service life of reinforced concrete structures // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2008. Vol. 4, No. 2. Pp. 123–137.
10. Lin W.M., Lin T.D., Powers-Couche L.J. Microstructures of fire-damaged concrete // *ACI Materials Journal*. 1996. Vol. 93, No. 3. Pp. 199–205.
11. Ozawa M., Uchida S., Kamada T., Morimoto H. Study of mechanisms of explosive spalling in high-strength concrete at high temperatures using acoustic emission // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37. Pp. 621–628.
12. Neville A.M. *Properties of Concrete*. 5th ed. Pearson, 2011. 846 p.

13. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.
14. Tuutti K. Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. 468 p.
15. Angst U., Elsener B., Larsen C.K., Vennesland Ø. Critical chloride content in reinforced concrete – A review // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39, No. 12. Pp. 1122–1138.
16. Consolazio G.R., McVay M.C., Rish J.W. III. Measurement and prediction of pore pressures in saturated cement mortar subjected to radiant heating // ACI Materials Journal. 1998. Vol. 95, No. 5. Pp. 525–536.
17. ACI Committee 222. Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. ACI 222R-01. American Concrete Institute, 2001. 41 p.
18. Popov A.M., Samoshkin A.S., Tikhomirov V.M. Metody issledovaniya vzaimodeystviya armatury s betonom chast' 1. Eksperimental'nye i analiticheskie metody [Methods for studying the interaction of reinforcement with concrete chapter 1: Experimental and analytical approaches]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. 2021. № 2 (57). Pp. 53–60. (rus).
19. Angst U., Polder R., Bertolini L. Corrosion in reinforced concrete structures: Mechanisms and strategies. CRC Press, 2017. 375 p.
20. Tamrazyan A.G. Nesushchaya sposobnost korrozionno-povrezhdennykh izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov, podvergnutykh ognevomu vozdeystviyu [Load-bearing capacity of corrosion-damaged flexural reinforced concrete elements exposed to fire]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]. 2022. No. 4. Pp. 130–137. (rus)
21. Tamrazyan A.G. Ogneudarostoykost nesushchikh zhelezobetonnykh konstruktsiy vysotnykh zdaniy [Fire impact resistance of load-bearing reinforced concrete structures of high-rise buildings]. Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing Construction]. 2005. No. 1. Pp. 7–43. (rus)
22. GOST 30247.0-94. Konstruktsii stroitel'nye. Metody ispytaniya na ognestoykost' [Building constructions. Methods for testing fire resistance]. (rus)
23. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. In: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. P. 01029.
24. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures. In: XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Ser. "Procedia Engineering". 2016. Pp. 721–725.

Информация об авторах

Тамразян Ашот Георгиевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия.
Д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Баряк Дмитрий Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия.
Аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: baryakd@gmail.com

Information about authors

Tamrazyan Ashot Georgievich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia.
Doctor in tech. sc., Prof, Head of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Baryak Dmitry Sergeevich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia.
Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures,
E-mail: baryakd@gmail.com