

# АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS OF ANALYSIS OF STRUCTURES

DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-1-18-25

УДК УДК 624.012.45


EDN: ICPTTG

Научная статья / Research article

## Экспериментальные исследования влияния высокотемпературного воздействия на сцепление арматуры и бетона в коррозионно-поврежденном железобетоне

А.Г. Тамразян , Д.С. Баряк  

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

 baryakd@gmail.com

Поступила в редакцию: 15 сентября 2024 г.

Принята к публикации: 23 декабря 2024 г.

**Аннотация.** Объект исследования — сцепление арматуры с бетоном после воздействия высоких температур и коррозии, что имеет ключевое значение для оценки долговечности железобетонных конструкций. Анализ научных источников показал, что при температурах выше 300 °С сцепление ухудшается за счет термического расширения арматуры, деградации цементного камня и образования трещин. Одновременно коррозия снижает адгезию и ослабляет механическое зацепление, ускоряя разрушение бетона. Однако комплексное влияние этих факторов изучено недостаточно, а существующие модели сцепления не учитывают их одновременное воздействие. В рамках эксперимента исследовались бетонные образцы с арматурой А500С, подвергнутые электрохимической коррозии и нагретые до 400 °С. Испытания на выдергивание арматуры выявили значительное снижение сцепления, связанное с разрушением адгезионного слоя и изменением механизма взаимодействия: в ненагретых образцах сцепление обеспечивалось пластическими деформациями, тогда как в нагретых обеспечивалось трением о продукты коррозии. Сравнение с предыдущими исследованиями, рассматривающими влияние температуры, типов арматуры и скоростей нагрева, подтвердило согласованность результатов и позволило уточнить роль предварительной коррозии. Полученные экспериментальные данные не только подтверждают существующие исследования, но и дополняют их за счет учета предварительной коррозии, что ранее рассматривалось в ограниченном объеме. Результаты могут быть использованы для прогнозирования последствий термических воздействий, оценки остаточной прочности конструкций и разработки методов восстановления.

**Ключевые слова:** адгезия арматуры, несущая способность, трещины, проскальзывание, условия эксплуатации, напряжения сцепления, пластические деформации, нагрев


**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Тамразян А.Г. — научное руководство, концепция исследования, рецензирование и редактирование; Баряк Д.С. — обзор литературы, подготовка и проведение эксперимента, обработка результатов, выводы.

**Для цитирования:** Тамразян А.Г., Баряк Д.С. Экспериментальные исследования влияния высокотемпературного воздействия на сцепление арматуры и бетона в коррозионно-поврежденном железобетоне // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2025. Т. 21. № 1. С. 18–25. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2025-21-18-25>

**Тамразян Ашот Георгиевич**, Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 2636-2447, ORCID: 0000-0003-0569-4788; e-mail: TamrazyanAG@mgsu.ru  
**Баряк Дмитрий Сергеевич**, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 5571-5554, ORCID: 0000-0003-1349-0590; e-mail: baryakd@gmail.com

© Тамразян А.Г., Баряк Д.С., 2025

 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

# Experimental Study of High-Temperature Exposure Effect on Reinforcement-Concrete Bond in Corrosion-Damaged Reinforced Concrete

Ashot G. Tamrazyan , Dmitriy S. Baryak 

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

✉ baryakd@gmail.com

Received: September 15, 2024

Accepted: December 23, 2024

**Abstract.** The object of this study is the bond between reinforcement and concrete after exposure to high temperatures and corrosion, which is critical for assessing the durability of reinforced concrete structures. The analysis of scientific sources revealed that at temperatures above 300°C, the bond deteriorates due to thermal expansion of the reinforcement, degradation of the cement matrix, and crack formation. Simultaneously, corrosion reduces adhesion and weakens mechanical interlocking, accelerating concrete deterioration. However, the combined effect of these factors remains insufficiently studied, and the existing bond models do not fully account for their simultaneous impact. In this experiment, concrete specimens with A500C reinforcement were subjected to electrochemical corrosion and heated to 400°C. Pull-out tests revealed a significant reduction in bond strength, attributed to the destruction of the adhesive layer and changes in the interaction mechanism: in unheated specimens, the bond was ensured by plastic deformations of concrete, whereas in heated specimens, it was maintained by friction against corrosion products. Comparison with previous studies on the influence of temperature, reinforcement types, and heating rates confirmed the consistency of the results and clarified the role of pre-existing corrosion. The obtained experimental data not only validates the existing studies, but also extends them by incorporating the effect of pre-corrosion, which was previously considered in a limited scope. The findings can be used to predict the consequences of thermal exposure, assess the residual strength of structures, and develop restoration methods.

**Keywords:** reinforcement adhesion, load-bearing capacity, cracks, slip, operating conditions, bond stress, plastic deformations, heating

**Conflicts of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Authors' contribution:** Tamrazyan A.G. — supervision, conceptualization, review and editing; Baryak D.S. — literature review, experimental investigation, data processing, conclusions.

**For citation:** Tamrazyan A.G., Baryak D.S. Experimental study of high-temperature exposure effect on reinforcement-concrete bond in corrosion-damaged reinforced concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2025; 21(1):18–25. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2025-21-1-18-25>

## 1. Введение

Сцепление между арматурой и бетоном является ключевым фактором, обеспечивающим совместную работу железобетона как монолитного материала [1]. Нарушение этой связи приводит к образованию трещин, снижению жесткости конструкций и уменьшению их несущей способности. Для расчета сцепления между арматурой и бетоном были разработаны различные модели, основанные на экспериментальных данных и теоретических исследованиях.

Основные параметры, влияющие на сцепление между арматурой и бетоном:

- прочностные характеристики бетона: осевая прочность на растяжение, состав бетона, наличие микротрещин;

- тип и геометрия арматуры — в основном это диаметр, профиль;

- тип нагрузки: статическая, динамическая, циклическая;

- обжатие арматуры: степень армирования и влияние хомутов;

- условия эксплуатации: температурно-влажностный режим, коррозия и другие внешние факторы.

Рассмотрим следующие методы определения сцепления.

---

*Ashot G. Tamrazyan*, Corresponding Member of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russian Federation; eLIBRARY SPIN code: 2636-2447, ORCID: 0000-0003-0569-4788; e-mail: TamrazyanAG@mgsu.ru

*Dmitriy S. Baryak*, PhD student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russian Federation; eLIBRARY SPIN code: 5571-5554, ORCID: 0000-0003-1349-0590; e-mail: baryakd@gmail.com

1. **Модель М.М. Холмянского** [2]. Методика расчета сцепления предложена на основе экспериментальных исследований:

$$\tau = B \frac{\ln(l + as)}{l + as},$$

где  $B = e \cdot \tau_{\max}$  — коэффициент, определяемый экспериментально;  $a = \frac{e-l}{S_{\max}}$  — коэффициент, зависящий от длины сцепления  $l$  и максимального проскальзывания  $S_{\max}$ .

2. **CEB-FIP Model Code 90**<sup>1</sup>. Эта модель описывает зависимость сцепления  $\tau$  от проскальзывания  $s$  через несколько участков диаграммы:

$$\tau = \begin{cases} \tau_{\max} \left( \frac{s}{s_1} \right)^\alpha, & 0 \leq s < s_1; \\ \tau_{\max}, & s_1 \leq s < s_2; \\ \tau_{\max} + (\tau_f - \tau_{\max}) \frac{s - s_2}{s_3 - s_2}, & s_2 \leq s < s_3; \\ \tau_f, & s > s_3, \end{cases}$$

где  $\tau_{\max}$  — максимальное напряжение сцепления;  $\tau_f$  — остаточное напряжение сцепления;  $s_1, s_2, s_3$  — проскальзывания на ключевых точках диаграммы.

3. **Модификация CEB-FIP** [3]. Модель учитывает нелинейное поведение нисходящей ветви диаграммы:

$$\tau = \begin{cases} \tau_{\max} \left( \frac{s}{s_{\max}} \right)^\alpha, & s \leq s_{\max}; \\ \tau_{\max} \left( \frac{s}{s_{\max}} \right)^{-\alpha'}, & s > s_{\max}. \end{cases}$$

4. **ACI Committee 318**<sup>2</sup>. Американский институт бетона предлагает модель, связывающую напряжение сцепления  $f_b$  с нормальными напряжениями  $\sigma_n$ :

$$f_b = \frac{2\mu}{\pi} \sigma_n + f_{\text{adh}},$$

где  $\sigma_n = \sigma_c + \sigma_{st} + \sigma_{\text{conf}}$  — нормальное напряжение, включающее обжатие бетона  $\sigma_c$ , реакцию хомутов  $\sigma_{st}$  и поперечные напряжения  $\sigma_{\text{conf}}$ ;  $f_{\text{adh}}$  — напряжение сцепления за счет адгезии.

5. **Y. Tian с соавт.** [4]. Эта модель описывает три стадии работы сцепления:

$$\tau = \begin{cases} \kappa_1 S, & 0 \leq s \leq s_{cr}; \\ \tau_{cr} + \kappa_2 (s - s_{cr}), & s_{cr} < s \leq s_u; \\ \tau_u + \kappa_3 (s - s_u), & s_u < s \leq s_r; \\ \tau_r, & s > s_r, \end{cases}$$

где  $\tau_u, \tau_r, s_u$  и  $s_r$  описывают характеристики напряжений сцепления и проскальзывания на различных этапах.

Коррозия арматуры — один из наиболее значительных факторов, влияющих на сцепление между арматурой и бетоном. Она вызывает разрушение адгезионной связи, изменение геометрии арматуры и ослабление механического зацепления.

<sup>1</sup> CEB-FIP Model Code 90. URL: [http://www.tocasa.es/zona2/CEB\\_FIP\\_model\\_code\\_1990\\_ing.pdf](http://www.tocasa.es/zona2/CEB_FIP_model_code_1990_ing.pdf) (accessed: 22.07.2024).

<sup>2</sup> ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02) / American Concrete Institute. Farmington Hills, MI, 2002. 443 p.

Для количественного анализа зависимости сцепления от степени коррозии используются эмпирические модели, предложенные различными исследователями:

1) *J.G. Cabrera* [5]. Модель описывает снижение сцепления в зависимости от степени коррозии ( $n$ ):

$$R_t = 1 - 5,6n,$$

где  $R_t$  — относительное сцепление (в долях от начального);  $n$  — степень коррозии;

2) *K.D. Stanish, R.D. Hooton, S.J. Pantazopoulou* [6]:

$$R_t = 1 - 3,5n;$$

3) *Y. Yuan, S. Yu, F. Jia* [6]. Модель учитывает влияние защитного слоя бетона  $c$  и диаметра арматуры  $d$ :

$$R_t = 1 - \left( 10,544 - \frac{1,586c}{d} \right) n;$$

4) *Y. Auyeung, P. Balaguru, L. Chung* [8]. Экспоненциальная модель зависимости:

$$R_t = e^{-32,51n};$$

5) *L. Chung, S.H. Cho, J.H.J. Kim, S.T. Yi* [9]:

$$R_t = 0,0159n^{-1,06}, R_t \leq 1,0.$$

Анализ существующих моделей сцепления между арматурой и бетоном показывает, что большинство из них основываются на учете геометрических, механических и химических характеристик материалов, а также внешних факторов, таких как коррозия арматуры. Эти зависимости позволяют достаточно точно оценивать сцепление в условиях нормальной эксплуатации и при наличии коррозионного повреждения. Однако температурные воздействия, особенно в условиях кратковременного или длительного нагрева, остаются плохо изученным аспектом, несмотря на их значительное влияние на прочностные характеристики железобетонных конструкций [10; 11].

Хотя в ряде исследований рассматривалось поведение сцепления арматуры и бетона после воздействия высоких температур [12; 13], эти работы преимущественно фокусируются на отдельных аспектах, таких как влияние длины анкеровки [12] или волокнистого армирования бетона [13], но не дают комплексной картины влияния различных температурных режимов на сцепление. Аналогично исследования [14; 15] рассматривают динамическое поведение сцепления при нагреве, однако их методики не позволяют полностью описать поведение арматуры в реальных условиях эксплуатации.

Кроме того, ряд работ посвящен изучению сцепления арматуры в специфических условиях, таких как использование сталей с высокой коррозионной стойкостью [16] или влияние высокопрочной арматуры [17], что, безусловно, является важным, но не решает задачу комплексного анализа влияния температурных факторов. Таким образом, несмотря на имеющиеся исследования, достаточных экспериментальных данных, позволяющих детально оценить сцепление арматуры и бетона при кратковременном или длительном нагреве, в настоящее время недостаточно, что подчеркивает актуальность проведенного исследования.

Несмотря на существование общих подходов к оценке температурных воздействий на материалы, отсутствуют точные эмпирические зависимости, позволяющие учитывать влияние нагрева на сцепление. Более того, механизмы разрушения в таких условиях, включая адгезионное нарушение и потерю механического зацепления, не имеют достаточного экспериментального обоснования. Это затрудняет как разработку новых конструктивных решений, так и корректное прогнозирование долговечности железобетонных конструкций, подвергающихся термическим воздействиям.

## 2. Методы

В рамках настоящего исследования проводилась экспериментальная оценка влияния нагрева до температур порядка 400 °С на сцепление арматуры с бетоном. Целью эксперимента являлось изучение механизма разрушения образцов и определение характерных зависимостей между температурным воздействием и напряжением сцепления. Экспериментальная методика включала испытания на выдергивание



*a*



*б*

**Рис. 1.** Экспериментальные образцы:  
*a* — образцы, не подверженные нагреву;  
*б* — образцы, подверженные нагреву  
Источник: фото Д.С. Баряка



**Рис. 2.** Экспериментальная установка с опытным образцом  
Источник: фото Д.С. Баряка



*a*

*б*

**Рис. 3.** Образцы после проведения испытаний:  
*a* — арматура после испытаний;  
*б* — бетонные призмы после испытаний  
Источник: фото Д.С. Баряка

ие арматуры из бетонных образцов, подвергнутых различным уровням нагрева. Испытания на взрыв проводились на универсальной электромеханической испытательной машине Instron 3382 (производитель: Instron, город: Норвуд, страна: США) с максимальной нагрузочной способностью 100 кН, оснащенной системой управления Bluehill и обеспечивающей высокую точность измерений благодаря электронному контролю нагрузки и деформации. Нагрев выполнялся с помощью муфельной лабораторной печи SNOL 7.2/1100 (производитель: AV UMEGA GROUP, город: Утена, страна: Литва) с максимальной температурой нагрева 1100 °С, рабочим диапазоном температур от +50 до 1100 °С и точностью поддержания температуры  $\pm 1$  °С. Полученные данные позволили не только определить степень влияния температуры на сцепление, но и выявить ключевые механизмы деградации, что может послужить основой для дальнейшего совершенствования существующих моделей расчета.

Эксперимент был проведен на базе НИУ МГСУ (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия). Для изготовления образцов использовались стальные стержни длиной 400 мм и диаметром 8 мм класса А500С и бетонные кубы из материала класса прочности В25. Длина рабочей зоны стержня, контактирующей с бетоном, составляла 40 мм (что эквивалентно пяти диаметрам арматуры). Оставшаяся часть арматуры изолировалась от бетона с помощью пластиковой трубки. Общий вид образцов до проведения испытаний, экспериментальной установки и образцов после испытаний изображен на рис. 1–3. Для создания коррозионного повреждения был применен метод электрохимического воздействия. Образцы помещались в пластиковые контейнеры, заполненные 5%-ным раствором NaCl. С использованием стабилизатора постоянного тока на арматуру подавался положительный заряд, а отрицательный — на раствор. Электрохимическая коррозия проводилась при постоянной силе тока 0,5 А в течение 60 дней. В результате получены стержни с процентом коррозии по диаметру стержня — 12 %, по площади поперечного сечения — 23 %.

#### Подготовка образцов

Для эксперимента было подготовлено две группы образцов:

- 1) контрольная группа: образцы без нагрева;
- 2) группа с повреждением арматуры: образцы, подвергнутые нагреву.

### 3. Результаты и обсуждение

В ходе обработки экспериментальных данных были получены усредненные значения, которые легли в основу построения графиков зависимости перемещения свободного конца арматурного стержня от величины приложенной нагрузки, а также от усилия, прикладываемого к нему. Результаты приведены в табл., а также на рис. 4.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что для образцов до нагрева среднее значение сцепления арматуры с бетоном составляет 24,47 МПа, тогда как после нагрева до температуры 400 °С это значение снижается до 17,38 МПа. Таким

образом, нагрев образцов приводит к снижению сцепления на 28,96 %, что свидетельствует о значительном влиянии температурного воздействия на адгезионные свойства арматуры и бетона.

Максимальное значение сцепления до нагрева наблюдалось в образце № 7 и составило 30,80 МПа, а после нагрева максимальное значение сцепления зарегистрировано у образца № 10 и составило 21,71 МПа. Минимальное значение сцепления для образцов до нагрева составило 19,83 МПа (образец № 2), а после нагрева — 8,88 МПа (образец № 11).

Таблица

### Результаты проведения эксперимента по определению сцепления

№	Максимальное усилие, кН	Сцепление, МПа	Среднее значение сцепления, МПа
Образцы до нагрева			
1	21,03	20,91	24,47
2	19,93	19,83	
3	22,74	22,62	
4	22,91	22,79	
5	27,19	27,05	
6	25,78	25,65	
7	30,96	30,80	
8	23,95	23,82	
9	26,90	26,76	
Образцы после нагрева			
10	21,82	21,71	17,38
11	8,92	8,88	
12	20,19	20,08	
13	22,57	22,45	
14	14,74	14,67	
15	12,11	12,05	
16	19,73	19,63	
17	18,53	18,43	
18	18,61	18,51	

Источник: выполнено Д.С. Баряком

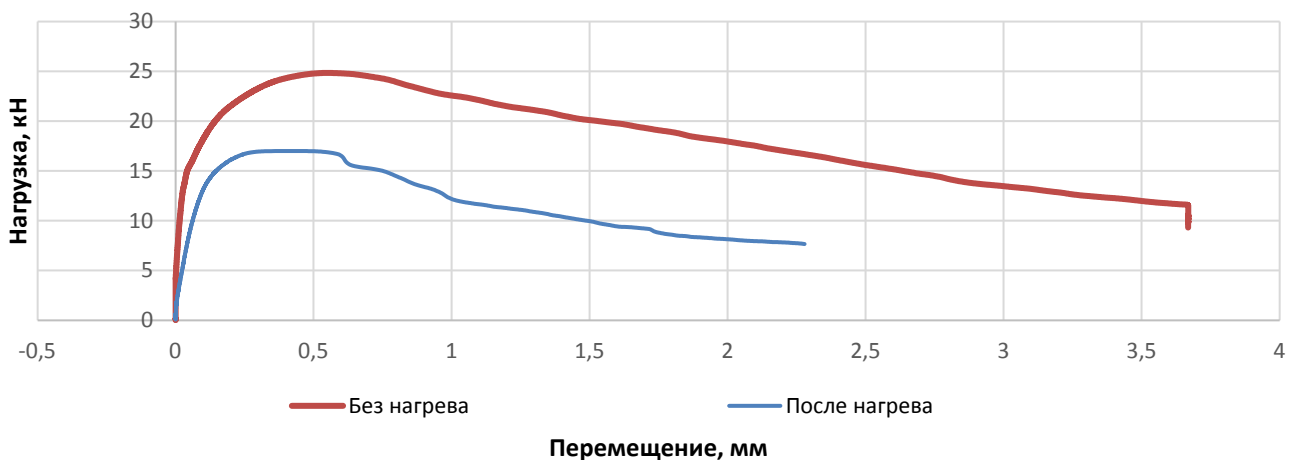


Рис. 4. График результатов эксперимента

Источник: выполнено Д.С. Баряком

Полученные результаты указывают на критическое снижение прочностных характеристик сцепления арматуры с бетоном под воздействием температуры, что согласуется с исследованиями [12–14], где снижение прочности сцепления при температурах 350–400 °С составило 25–40 %, подтверждая значительное влияние термического воздействия на деградацию адгезионных свойств арматуры и бетона. В [15] отмечено, что скорость нагрева существенно влияет на снижение сцепления, при этом умеренные темпы нагрева, использованные в данном исследовании, дают результаты, сопоставимые с ранее полученными данными. Кроме того, данные [16; 17] указывают, что использование коррозионно-стойкой арматуры частично компенсирует температурные потери сцепления, однако в данном исследовании показано, что при стандартной арматуре А500С температурные воздействия приводят к деградации сцепления независимо от коррозионного слоя. Таким образом, полученные экспериментальные данные не только подтверждают существующие исследования, но и дополняют их за счет учета предварительной коррозии, что ранее рассматривалось в ограниченном объеме. Это подчеркивает актуальность работы и ее вклад в изучение влияния температурных воздействий на сцепление арматуры с бетоном.

#### 4. Заключение

1. Испытания показали снижение сцепления арматуры с бетоном после нагрева до 400 °С на 30 % относительно ненагретых образцов. Это подтверждает существенное влияние температурного воздействия на адгезионные свойства коррозионно-поврежденной арматуры.

2. Анализ графиков зависимости напряжения от перемещения показывает, что нагрев приводит к снижению предельных напряжений и изменению характера работы системы. Для нагретых образцов наблюдается более ранний спад напряжений после пика, что свидетельствует о снижении несущей способности.

3. В ненагретых образцах работа сцепления с бетоном обеспечивается за счет пластических деформаций бетона между выступами профиля арматуры. В нагретых образцах это взаимодействие ослабляется, и сцепление в большей степени зависит от трения о продукты коррозии, что приводит к более резкому перегибу графика в точке максимальной нагрузки.

#### Список литературы

1. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads // MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. Article no. 01029. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168601029> EDN: YVACDT
2. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. Москва : Стройиздат, 1981. 184 с. URL: <https://djvu.online/file/J6CjJaV1ndKB0> (дата обращения: 21.07.2024)
3. Cruz J.S., Barros J. Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete // Computers and Structures. 2004. No. 82. P. 1513–1521. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2004.03.047>
4. Tian Y., Liu J., Xiao H., Zhang Y., Mo Q., Shen J., Shi J. Experimental Study on Bond Performance and Damage Detection of Corroded Reinforced Concrete Specimens // Advances in Civil Engineering. 2020. Vol. 7. Article no. 7658623. <https://doi.org/10.1155/2020/7658623> EDN: ZZMGBB
5. Cabrera J.G. Deterioration of concrete due to reinforcement steel corrosion // Cement and Concrete Composites. 1999. Vol. 18. No. 1. P. 47–59. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00043-7](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00043-7)
6. Stanish K.D., Hooton R.D., Pantazopoulou S.J. Corrosion effects on bond strength in reinforced concrete // ACI Structural Journal. 1999. Vol. 96. No. 6. P. 915–921. <https://doi.org/10.14359/765>
7. Yuan Y., Yu S., Jia F. Deterioration of bond behavior of corroded reinforced concrete // Indust. Constr. 1999. No. 29. P. 47–50. (In Chin.)
8. Auyeung Y., Balaguru P., Chung L. Bond behavior of corroded reinforcement bars // ACI Mater. J. 2000. Vol. 97. No. 2. P. 214–220. <https://doi.org/10.14359/826>
9. Chung L., Cho S.H., Kim J.H.J., Yi S.T. Correction factor suggestion for ACI development length provisions based on flexural testing of RC slabs with various levels of corroded reinforcing bars // Eng. Struct. 2004. Vol. 26. No. 8. P. 1013–1026. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.01.008>
10. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures // XXV Polish — Russian — Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering.” Сер. “Procedia Engineering”. 2016. P. 721–725. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.232> EDN: YUVYJL
11. Тамразян А.Г., Баряк Д.С. Температурный анализ коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов при огневом воздействии // Инновации в строительстве : материалы международной научно-практической конференции. Брянск : Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2024. С. 255–259 EDN: NQOMVV

12. *Das A., Bošnjak J., Sharma A.* Post-fire bond behaviour of reinforcement in concrete considering different bonded lengths and position of rebars // *Engineering Structures*. 2023. Vol. 296. No. 1. Article no. 116908. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116908> EDN: APIFDI
13. *Li X., Lu C., Cui Y., Zhou L.* Study on the bond properties between steel bar and fiber reinforced concrete after high temperatures // *Structures*. 2023. Vol. 49. P. 889–902. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.005> EDN: GCCACV
14. *Liu C., Qiu Z., Zhang S., Yan L., Miao J., Zheng C.* Experimental Study on Dynamic Bond Behavior between Reinforcement and Concrete under Fire // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2024. Vol. 36. No. 6. <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-17655> EDN: BNAZEX
15. *Banoth I., Agarwal A.* Bond between deformed steel rebars and concrete at elevated temperatures // *Fire Safety Journal*. 2024. Vol. 145. Article no. 104133. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104133> EDN: BBBGXS
16. *Albero V., Hernández-Figueirido D., Roig-Flores M., Melchor-Eixea A., Piquer A.* High-temperature effects on bond behaviour between concrete and corrosion resistant steel reinforcements // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 447. Article no. 138086. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138086> EDN: IGLTCT
17. *Abuhishmeh K., Hojat Jalali H., Ebrahimi M., Soltanianfard M.A., Correa C.O., Cornejo J.S.* Behavior of high strength reinforcing steel rebars after high temperature exposure: Tensile properties and bond behavior using pull-out and end beam tests // *Engineering Structures*. 2024. Vol. 305. Article no. 117730. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.117730> EDN: KBGQND