



УДК 624.046.2

DOI: 10.22227/2949-1622.2025.3.21-27

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

## Несущая способность изгибаемых железобетонных балок при коррозионных повреждениях сжатой зоны

А.Г. Тамразян<sup>1\*</sup>, Г.А. Садоян<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Российская Федерация

\*tamrazian@mail.ru

**Ключевые слова:** железобетонные балки, несущая способность, коррозия сжатой зоны

### История статьи

Поступила в редакцию: 12.06.2025

Доработана: 17.07.2025

Принята к публикации: 20.07.2025

### Для цитирования

Тамразян А.Г., Садоян Г.А. Несущая способность изгибаемых железобетонных балок при коррозионных повреждениях сжатой зоны // Железобетонные конструкции. 2025. Т. 11. № 3. С. 21–27.

**Аннотация.** Железобетон является основным конструкционным материалом для строительства зданий и сооружений различного назначения. Одной из ключевых характеристик, определяющих безопасность, долговечность и надежность таких конструкций, является их несущая способность. Основным фактором снижения несущей способности железобетонных конструкций являются коррозионные воздействия, представляющие наибольшую опасность для изгибаемых конструкций. Рассматривается влияние хлоридных коррозионных повреждений бетона сжатой зоны на несущую способность изгибаемых железобетонных балок. Установлено, что коррозионные повреждения сжатой зоны бетона ведут к снижению прочностных характеристик сжатой зоны, что приводит к снижению несущей способности изгибаемой железобетонной балки в целом. Также вследствие коррозии из работы выключается арматура сжатой зоны, что также приводит к снижению несущей способности изгибаемой балки.

## Bearing Capacity of Flexural Reinforced Concrete Beams with Corrosion Damage in the Compression Zone

А.Г. Tamrazyan<sup>1\*</sup>, H.A. Sadyan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russian Federation

\* tamrazian@mail.ru

**Keywords:** reinforced concrete beams, load-bearing capacity, compression zone corrosion

### Article history

Received: 12.06.2025

Revised: 17.07.2025

Accepted: 20.07.2025

**Abstract.** Reinforced concrete is the primary structural material for the construction of buildings and structures of various purposes. One of the key characteristics determining the safety, durability, and reliability of such structures is their load-bearing capacity. The main factor reducing the load-bearing capacity of reinforced concrete structures is corrosion, which poses the greatest threat to flexural members. This paper examines the influence of chloride-induced corrosion damage in the concrete compression zone on the load-bearing capacity of reinforced concrete flexural beams.

*Аиот Георгиевич Тамразян*, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 2636-2447, Scopus: 55975413900, ResearcherID: T-1253-2017, ORCID: 0000-0003-0569-4788, E-mail: Tamrazian@mail.ru

*Гамлет Андраникович Садоян*, аспирант, преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 6501-5112, E-mail: sadyangamlet@mail.ru

© Тамразян А.Г., Садоян Г.А., 2025



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

**For citation**

Tamrazyan A.G., Sadoyan H.A. Bearing Capacity of Flexural Reinforced Concrete Beams with Corrosion Damage in the Compression Zone. *Reinforced concrete structures*. 2025; 3(11):21-27.

It has been established that corrosion damage in the concrete compression zone leads to a degradation of its strength properties, which, in turn, results in a reduction of the beam's overall load-bearing capacity. Furthermore, corrosion leads to the disengagement of the compression reinforcement from carrying load, which also contributes to the reduction of the flexural member's load-bearing capacity.

**ВВЕДЕНИЕ**

Различные труды российских и зарубежных авторов показывают, что основным фактором, приводящим к снижению эксплуатационных качеств и преждевременному выходу конструкций из строя, является коррозия арматуры. Значительный объем исследований традиционно был сосредоточен на коррозии растянутой арматуры, поскольку именно она в первую очередь воспринимает изгибающие моменты [1–3].

При этом достаточно малоизученным остается вопрос влияния коррозионных воздействий на сжатую зону изгибаемой железобетонной балки, которая может привести к повреждениям бетона сжатой зоны, а также коррозионным повреждениям арматуры сжатой зоны [4–6].

Коррозионные повреждения сжатой зоны приводят к ряду негативных последствий: уменьшается эффективная площадь бетона, воспринимающего сжимающие усилия, снижается прочность и деформативность бетона, нарушается условие совместной работы арматуры и бетона, а также уменьшается площадь арматуры сжатой зоны, что в комплексе может спровоцировать хрупкое разрушение элемента по сжатой зоне [7, 8].

Одним из наиболее распространенных видов коррозионных воздействий на сжатую зону бетона является хлоридная коррозия, приводящая к значительным потерям несущей способности изгибаемой железобетонной балки [9, 10].

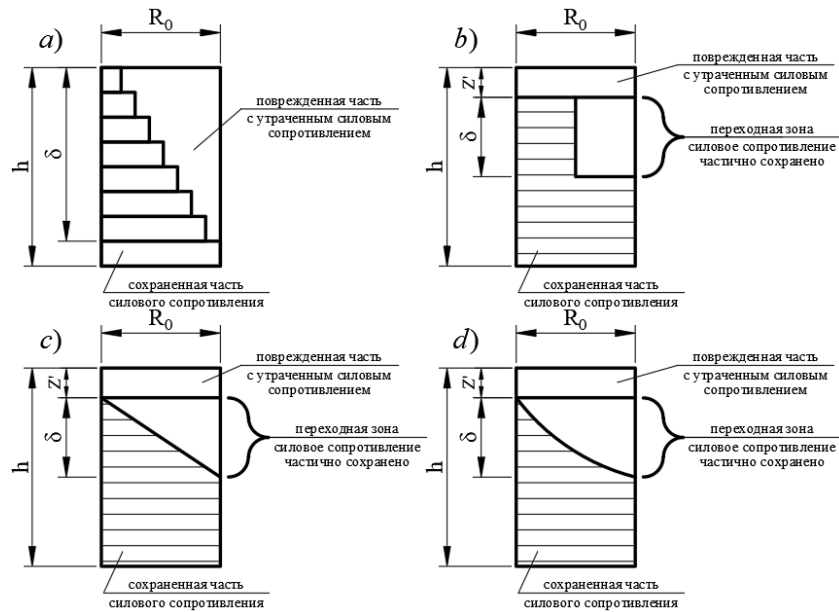
Существующие модели учета коррозионных повреждений сжатой зоны бетона являются достаточно трудоемкими, в частности, проблемным является определение нижних границ поврежденной части и переходной зоны (рис. 1). Также трудности вызывает функция определения коэффициента изменения прочностных характеристик бетона в переходной зоне. В соответствии с этим применение данных методов требует большого количества исходных данных.

Целью данной работы являются оценка влияния коррозионных повреждений бетона и арматуры сжатой зоны на прочностные и деформационные характеристики изгибаемых железобетонных балок и разработка методики расчета их несущей способности.

В рамках данной работы давление продуктов коррозии арматуры сжатой зоны условно не учитывается.

*Ashot G. Tamrazyan*, corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 2636-2447, Scopus: 55975413900, ResearcherID: T-1253-2017, ORCID: 0000-0003-0569-4788, E-mail: tamrazian@mail.ru

*Hamlet A. Sadoyan*, postgraduate Student, Lecturer at the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 6501-5112, E-mail: sadoyangamlet@mail.ru



**Рис. 1.** Модели коррозионно-поврежденных бетонных элементов:

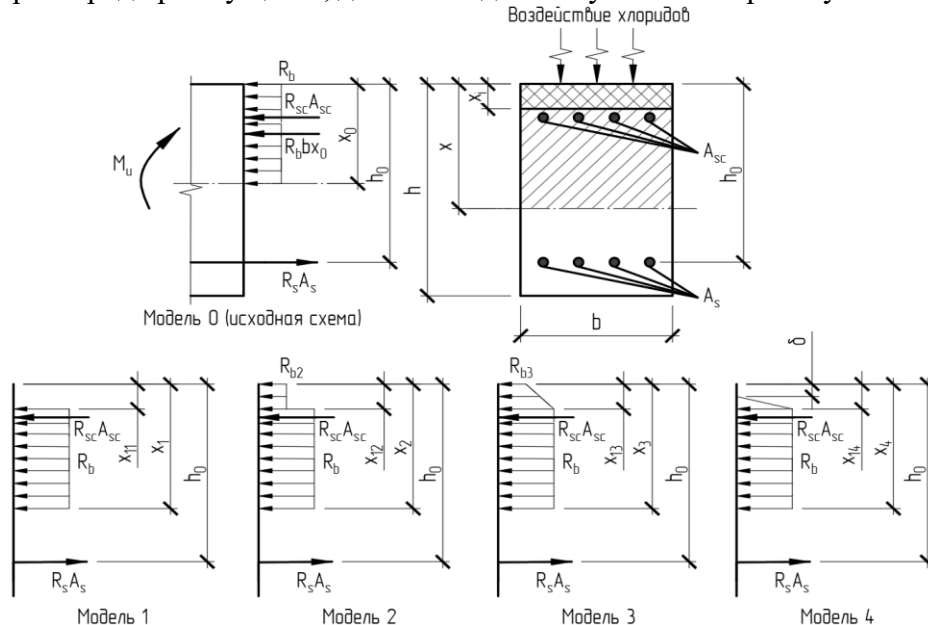
*a* — Е.А. Гузеева [11, 12]; *b* — П.Г. Комохова [13]; *c* — В.И. Римшина [14]; *d* — В.М. Бондаренко [15, 16], Е.А. Ларионова [17]

**Fig. 1.** Models of corrosion-damaged concrete elements:

*a* — E.A. Guzeev [11, 12]; *b* — P.G. Komokhov [13]; *c* — V.I. Rimshin [14]; *d* — V.M. Bondarenko [15, 16], E.A. Larionov [17]

## МЕТОД

Более прикладными к решению данного рода задач являются модели, предложенные В.П. Селяевым [18], согласно которым выделяются 2 зоны: поврежденная и неповрежденная (рис. 2). Несмотря на ряд преимуществ, данные модели не учитывают работу сжатой арматуры.



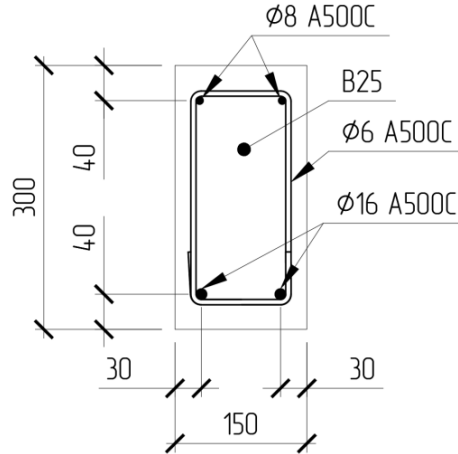
**Рис. 2.** Напряженно-деформированное состояние сжатой зоны изгибаемого железобетонного элемента без учета работы сжатой арматуры, предложенное В.П. Селяевым [18]

**Fig. 2.** The stress-strain state of the compression zone in a flexural reinforced concrete element, excluding the contribution of the compression reinforcement, as proposed by V.P. Selyaev [18]

Снижение несущей способности балки определяется тремя ключевыми параметрами: степенью снижения прочности бетона в корродированных слоях, глубиной распространения повреждения и видом коррозионного воздействия [3, 4].

При высоко агрессивной коррозионной среде прочность бетона может снизиться до 5–15 % от первоначальной уже в первые 50–200 суток. Учитывая, что проектный срок службы таких конструкций исчисляется десятилетиями, для расчетов прочность корродированного бетона можно считать равной нулю [18].

Для анализа рассмотрим следующую балку, представленную на рис. 3.



**Рис. 3.** Сечение рассматриваемой балки  
**Fig. 3.** Cross-section of the beam under study

Основным методом расчета изгибаемых железобетонных балок, согласно российским нормам, является метод предельных состояний [19, 20], в соответствии с которым расчет по прочности нормальных сечений производится по следующей формуле:

$$M \leq M_{ult}. \tag{1}$$

где  $M$  — изгибающий момент от внешней нагрузки;

$M_{ult}$  — предельный изгибающий момент, который сечение способно воспринять, определяемый по формуле:

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'), \tag{2}$$

где  $x$  — высота сжатой зоны бетона, определяемая по следующей формуле:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_{sc}}{R_b \cdot b}; \tag{3}$$

$h_0$  — рабочая высота сечения балки.

Формула (4) справедлива при выполнении следующего условия:

$$\zeta = \frac{x}{h_0} \leq \zeta_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}}, \tag{4}$$

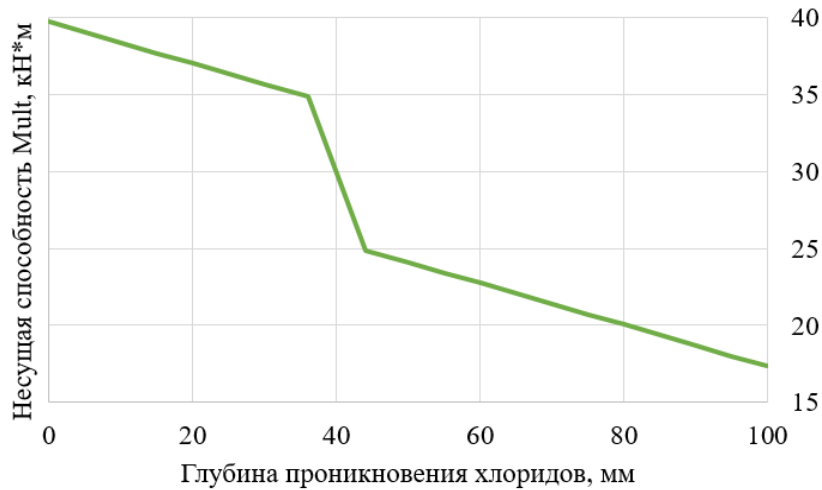
где  $\zeta$  — относительная высота сжатой зоны бетона;

$\varepsilon_{s,el}$  — относительная деформация растянутой арматуры при напряжениях  $R_s$ ;

$\varepsilon_{b2}$  — относительная деформация сжатого бетона при напряжениях  $R_b$  при непродолжительном действии нагрузки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 4 представлена зависимость предельного момента, который балка способна воспринять, от глубины проникновения хлоридов.



**Рис. 4.** Зависимость несущей способности  $M_{ult}$  от глубины проникновения хлоридов

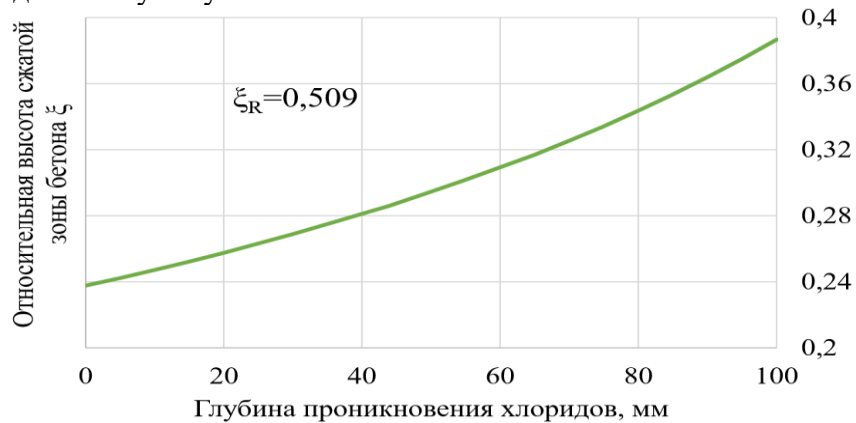
**Fig. 4.** Dependence of the load-bearing capacity  $M_{ult}$  on the chloride penetration depth

Резкое падение графика при глубине проникновения хлоридов от 36 до 44 мм связано с выключением из работы арматуры сжатой зоны бетона (см. рис. 4).

Несущая способность по нормальным сечениям до проникновения хлоридов составляет 39,69 кН·м, перед выключением из работы сжатой арматуры 34,85 кН·м (87,8 % от исходного), после выключения сжатой арматуры 24,89 кН·м (62,7 % от исходного), при проникновении хлоридов на 100 мм в сжатую зону 17,36 кН·м (43,7 % от исходного).

Вместе с тем хрупкого разрушения балки при глубине проникновения хлоридов, равной 100 мм, не происходит, предельное значение относительной высоты сжатой зоны  $\xi_R = 0,509$  (рис. 5).

Хрупкое разрушение балки может произойти только после дальнейшего распространения воздействия хлоридов на глубину 139 мм.



**Рис. 5.** Зависимость относительной высоты сжатой зоны  $\xi$  от глубины проникновения хлоридов

**Fig. 5.** Dependence of the relative depth of the compression zone  $\xi$  on the chloride penetration depth

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает, что коррозионные повреждения сжатой зоны изгибаемых железобетонных балок приводят к значительным снижениям их несущей способности.

При этом установлено, что выключение из работы арматуры сжатой зоны приводит к резкому снижению несущей способности изгибаемой железобетонной балки, что может привести к критическим последствиям для конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г., Садоян Г.А. Несущая способность изгибаемых железобетонных плит при местных изменениях прочности бетона // Строительство и реконструкция. 2025. № 3 (119). С. 99–110.
2. Тамразян А.Г., Мацевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 89–98.
3. Тамразян А.Г. Вероятностный метод расчета долговечности железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021 : сб. докладов II Нац. науч. конф., Москва, 08 декабря 2021 года. М. : МГСУ, 2022. С. 100–106.
4. Тамразян А.Г., Садоян Г.А. Прогнозирование срока службы изгибаемых железобетонных конструкций на основе оценки надежности их технического состояния // Инженерный вестник Дона. 2024. № 6 (114). С. 429–442.
5. Фролов Н.В. Экспериментальные исследования кинематики развития коррозионных повреждений бетона в изгибаемых железобетонных элементах при силовых и средовых воздействиях // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 34–43.
6. Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В. Анализ коррозионных повреждений эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 1. С. 52–57.
7. Курченко Н.С., Гришков В.А. К оценке жесткости коррозионно-повреждаемых железобетонных балок // ИВД. 2022. № 9 (93). С. 112–123.
8. Никитин С.Е. Оценка долговечности коррозионно-поврежденных железобетонных конструкций на базе диахронной модели деформирования // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 242.
9. Леонович С.Н., Прасол А.В. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение // Строительные материалы. 2013. № 5. С. 94–95.
10. Шалый Е.Е., Ким Л.В. Хлоридная коррозия морского бетона // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 2 (35). С. 101–110.
11. Гузеев Е.А., Савицкий Н.В. Расчет железобетонных конструкций с учетом кинетики коррозии бетона третьего вида // Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах : сб. М., 1988. С. 16–19
12. Гузеев Е.А., Савицкий Н.В., Тютюк А.А. Расчет напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов с учетом кинетики сульфатной коррозии бетона // Защита бетона и железобетона от коррозии : сб. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1990. С. 59–66.
13. Чутчев О.Б. Развитие предложений по оценке остаточного силового сопротивления железобетонных конструкций от воздействия несиловых факторов в процессе эксплуатации // Вестник РААСН. 2005. № 9. С. 465–469.
14. Римшин В.И. О восстановлении силового сопротивления железобетона при реконструкции сооружений // Синэргобетонирование изделий и конструкций : Междунар. науч.-техн. конф. Владимир : ВГУ, 1997. С. 68–70.
15. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М. : Изд-во АСВ, 2004. 471 с.
16. Бондаренко В.М., Ивахнюк В.А. Фрагменты теории силового сопротивления бетона, поврежденного коррозией // Бетон и железобетон. 2003. № 5. С. 21–23.
17. Ларионов Е.А. Несущая способность изгибаемого железобетонного элемента при коррозионных повреждениях // Вестник МГСУ. 2014. № 7. С. 51–63.
18. Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Кечуткина Е.Л. Прогнозирование долговечности железобетонных изгибаемых элементов методом деградиационных функций // Жилищное строительство. 2014. № 12. С. 8–18.
19. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М. : Стройиздат, 1996. 416 с.
20. Колчунов В.И. Модель расчета параметров предельных состояний железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2025. № 2. С. 4–13.

## REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Sadoyan G.A. Nesuschaya sposobnost' izgibaemykh zhelezobetonnykh plit pri mestnykh izmeneniyakh prochnosti betona. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2025; 3(119):99-110. (in Russian).
2. Tamrazyan A.G., Matsevich T.A. Analiz nadezhnosti zhelezobetonnoi plity s korrodivovannoi armaturoi. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2022; 1(99):89-98. (in Russian).
3. Tamrazyan A. G. Veroyatnostnyi metod rascheta dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksii, podverzhenykh vozdeistviyu khloridov. *Aktual'nye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya – 2021 : Sbornik dokladov Vtoroi Natsional'noi nauchnoi konferentsii, Moskva, 08 dekabrya 2021 goda*. Moscow, Natsional'nyi issledovatel'skii Moskovskii gosudarstvennyi stroitel'nyi universitet, 2022; 100-106. (in Russian).
4. Tamrazyan A.G., Sadoyan G.A. Prognozirovaniye sroka sluzhby izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksii na osnove otsenki nadezhnosti ikh tekhnicheskogo sostoyaniya. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2024; 6(114):429-442. (in Russian).
5. Frolov N.V. Eksperimental'nye issledovaniya kinematiki razvitiya korrozionnykh povrezhdenii betona v izgibaemykh zhelezobetonnykh elementakh pri silovykh i sredovykh vozdeistviyakh. *Vestnik BGTU imeni V.G. Shukhova*. 2020; 2:34-43. (in Russian).
6. Smolyago G.A., Frolov N.V., Dronov A.V. Analiz korrozionnykh povrezhdenii ekspluatiruemykh izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksii zdaniy i sooruzhenii. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2019; 1:52-57. (in Russian).
7. Kurchenko N.S., Grishkov V.A. K otsenke zhestkosti korrozionno-povrezhdaemykh zhelezobetonnykh balok. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2022; 9(93):112-123. (in Russian).
8. Nikitin S.E. Otsenka dolgovechnosti korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh konstruksii na baze diakhronnoi modeli deformirovaniya. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012; 2:242. (in Russian).
9. Leonovich S.N., Prasol A.V. Zhelezobeton v usloviyakh khlornoj korrozii: deformirovanie i razrushenie. *Stroitel'nye materialy*. 2013; 5:94-95. (in Russian).
10. Shalyi E.E., Kim L.V. Khlornaya korroziya morskogo betona. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. 2018; 2(35):101-110. (in Russian).
11. Guzeev E.A., Savitskii N.V. Raschët zhelezobetonnykh konstruksii s uchyotom kinetiki korrozii betona tret'ego vida. *Korrozionnaya stoikost' betona, armatury i zhelezobetona v aggressivnykh sredakh : Sbornik*. Moscow, 1988; 16-19. (in Russian).
12. Guzeev E.A., Savitskii N.V., Tytyuk A.A. Raschët napryazhönno-deformirovannogo sostoyaniya normal'nykh sechenii zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s uchyotom kinetiki sul'fatnoi korrozii betona. *Zashchita betona i zhelezobetona ot korrozii : Sbornik*. Moscow, NIIZhB Gosstroya SSSR, 1990; 59-66. (in Russian).
13. Chupichev O. B. Razvitie predlozhenii po otsenke ostatochnogo silovogo soprotivleniya zhelezobetonnykh konstruksii ot vozdeistviya nesilovykh faktorov v protsesse ekspluatatsii. *Vestnik RAASN*. 2005; 9:465-469. (in Russian).
14. Rimshin V.I. O vosstanovlenii silovogo soprotivleniya zhelezobetona pri rekonstruktsii sooruzhenii. *Sinergo-betonirovanie izdelii i konstruksii : Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya*. Vladimir, Vladimirsii gosudarstvennyi universitet, 1997; 68-70. (in Russian).
15. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. *Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona*. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2004; 471. (in Russian).
16. Bondarenko V.M., Ivakhnyuk V.A. Fragmenty teorii silovogo soprotivleniya betona, povrezhdönno korroziei. *Beton i zhelezobeton*. 2003; 5:21-23. (in Russian).
17. Larionov E.A. Nesuschaya sposobnost' izgibaemogo zhelezobetonnogo elementa pri korrozionnykh povrezhdeniyakh. *Vestnik MGSU*. 2014; 7:51-63. (in Russian).
18. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kechutkina E.L. Prognozirovaniye dolgovechnosti zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov metodom degradatsionnykh funktsii. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014; 12:8-18. (in Russian).
19. Karpenko N.I. *Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona*. Moscow, Stroiizdat, 1996; 416. (in Russian).
20. Kolchunov V.I. Model' rascheta parametrov predel'nykh sostoyanii zhelezobetonnykh konstruksii. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2025; 2:4-13.