

**CALCULATION AND COMPARISON OF FOUNDATION SLAB SEDIMENTS
ACCORDING TO DIFFERENT MODELS OF THE SOIL BASE IN MODERN
SOFTWARE AND COMPUTING COMPLEX**

S.L. Subbotin, A.D. Krylov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article considers the calculation and results of comparing the sediments of the foundation slab of a 12-storey monolithic residential building with public premises according to different models of the soil foundation.

Keywords: ground base, sediment, Winkler model, Pasternak model, layer-by-layer summation method.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

SUBBOTIN Sergey Lvovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sbtn@yandex.ru

KRYLOV Alexey Dmitrievich – Master's Degree Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: krylovalesha791@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Subbotin S.L., Krylov A.D. Calculation and comparison of foundation slab sediments according to different models of the soil base in modern PVC // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 26–35.

УДК 69.07

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И СРОКА СЛУЖБЫ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ
В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

А.А. Черняев, К.В. Марфин
Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева (г. Орел)

© Черняев А.А., Марфин К.В., 2026

Аннотация. В статье выполнены теоретические расчеты и произведен анализ изменения остаточного ресурса и срока службы железобетонной балки покрытия на примере обследуемого здания котельной, расположенной в 909-м жилом квартале г. Орла. Рассмотрена предварительно напряженная балка пролетом 12 м, предназначенная для покрытий зданий с плоской и скатной кровлей, выполненная по серии 1.462.1-1/88.

Приведены результаты расчета балки после технологического воздействия с образованием коррозии предварительно напряженной рабочей арматуры в нижней грани. Построен теоретический график изменения со временем запаса по армированию рабочей преднапряженной арматуры. Определен теоретический срок службы балки в рассматриваемых условиях эксплуатации.

Ключевые слова: железобетонная балка покрытия, коррозия стальной арматуры, остаточный ресурс, срок службы.

DOI: 10.46573/2658-7459-2026-1-35-43

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации в средах разной степени агрессивности строительные конструкции претерпевают ухудшение свойств материалов и, как следствие, потерю несущей способности [1], в том числе по причине коррозионного износа [2, 3]. Поэтому при эксплуатации зданий важно своевременно выполнять их обследование [4], а также производить теоретическую оценку остаточного ресурса и срока службы [5], что особенно актуально для объектов тепловой энергетики (котельных) [6, 7] жилых кварталов и районов, которые играют важную роль в жилищном хозяйстве города.

Анализ указанных и других публикаций показал, что вопросы, рассматриваемые в настоящем исследовании, по-прежнему актуальны. Отличие и новизна состоят в различных подходах к общей оценке работоспособности, определению фактического состояния, моделированию и учету потерь несущей способности от коррозии стальной арматуры.

Цель исследования заключается в анализе и теоретической оценке остаточного ресурса и срока службы железобетонной балки покрытия здания котельной в существующем на момент обследования техническом состоянии и условиях эксплуатации с учетом коррозии арматуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Описание объекта исследования

Здание квартальной котельной, расположенной по адресу: г. Орел, ул. Кромская, д. 7а, размерами в осях в плане 30 х 12 м. Высота на отметке +7,870. Конструктивная система каркасная с железобетонными несущими колоннами и балками покрытия по серии 1.462.1-1/88. Шаг рам 6 м. В здании котельной находятся 3 котла на отметках пола +0,150. От котлов через технологические дренажные сборники происходит воздействие пара на балки покрытия (рис. 1).

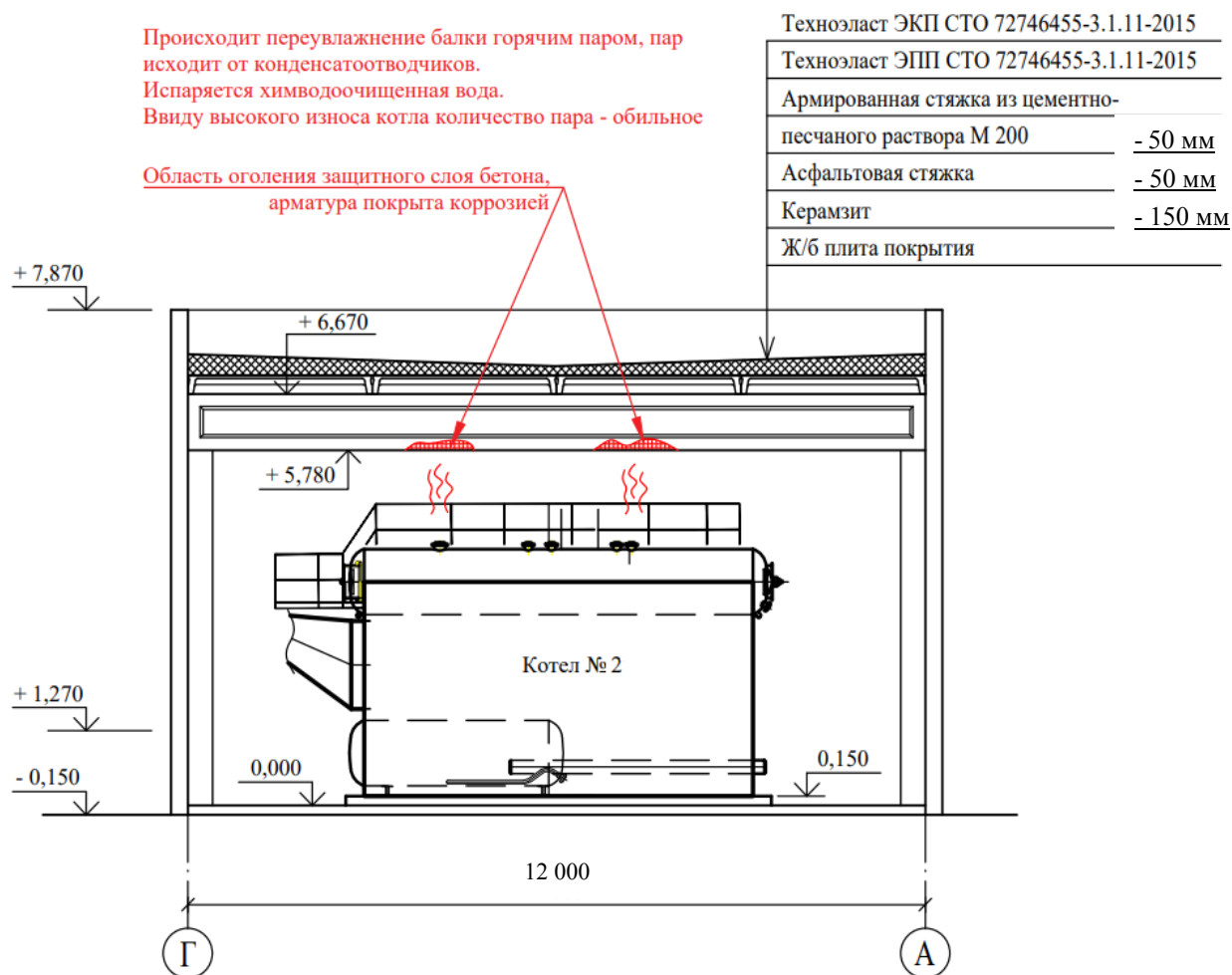
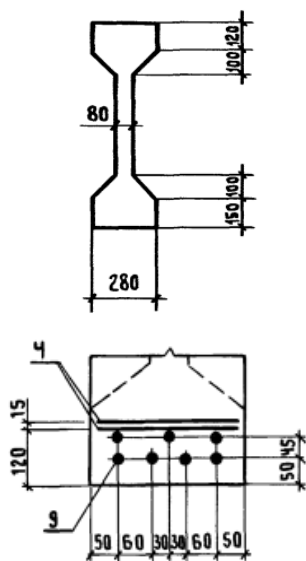


Рис. 1. Железобетонная балка покрытия здания котельной на поперечном разрезе с указанием мест коррозии стальной арматуры в нижней грани (рисунок авторов)

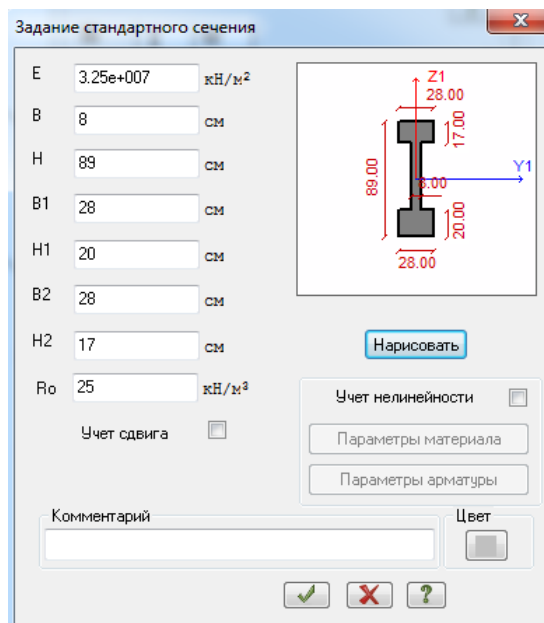
Марка балки 1 БСП 12-4 АтVСК-Н; армирование балки по серии 1.462.1-1/88: напрягаемая арматура в нижней полке 7 Ø18 А800 (рис. 2) (установлено по результатам обследования).

Бетон балки класса по прочности на сжатие В30 (приведено от марки к классу по табл. 6.1 [8]); фактическая прочность бетона определялась неразрушающим методом при использовании электронного склерометра ОНИКС-2.5.

Результаты химического анализа воды в котельной (табл. 1) и данные по коррозии арматуры (табл. 2) предоставлены организацией-заказчиком для выполнения расчетов.



а



б

Рис. 2. Сечение балки 1 БСП 12-4 АтVСК-Н:

а – армирование сечения балки по серии 1.462.1-1/88;

б – эквивалентное сечение балки для расчета (Print Sclin в программе ЛИРА-САПР)

Таблица 1

Химический анализ исходной воды в котельной по адресу:
г. Орел, ул. Кромская, д. 7а, кв. 909

№	Определяемый показатель	Единица измерения	Результат исследования
1	Цветность	градус цв.	3,1
2	Мутность	мг/кг	0,22
3	pH	ед. pH	7,8
4	Жесткость общ.	мг-экв/кг	7,5
5	Щелочность общ.	мг-экв/кг	6,3
6	Солесодержание	мг/кг	487
Катионы			
7	Кальций (Ca^{2+})	мг/кг	105,0
8	Магний (Mg^{2+})	мг/кг	27,2
9	Железо (Fe^{2+})	мг/кг	0,14
10	Натрий + калий ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)	мг/кг	12,8
Анионы			
11	Бикарбонаты (HCO_3^-)	мг/кг	384,4
12	Сульфаты (SO_4^{2-})	мг/кг	49,0
13	Хлориды (Cl^-)	мг/кг	31,0

Таблица 2

Коррозия арматуры

Параметр	Исходное значение	Через 10 лет	Через 20 лет
Диаметр стержня (Ø18 мм), мм	18,00	16,74	14,44
Площадь сечения стержня, мм ²	254,5	219,8	163,8
Суммарная площадь сечений стержней (7 шт.), мм ²	1 781,5	1 538,6	1 146,6
Потеря суммарной площади сечения, %	–	13,6	35,6

Ключевыми факторами деградации арматуры явились:

высокая температура (увеличивающая скорость коррозии);

наличие хлоридов (31,0 мг/кг), выступающих основным агрессивным агентом;

отсутствие гидроизоляции.

Расчет предварительно напряженной железобетонной рассматриваемой балки по предельным состояниям первой группы выполнялся по п. 9.2 [8]. В расчетах было принято:

влажность воздуха окружающей среды более 75 %;

коэффициент ползучести бетона $\varphi_{b,cr} = 1,6$ по п. 6.1.16 [8].

При расчете железобетонной балки использовался общий алгоритм произведения вычислений в [9] с учетом действующих положений норм [8].

Сбор нагрузок на балку выполнялся в соответствии с [10, 11], коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1$.

Нагрузки, учтенные в расчете

Постоянные нагрузки P_d на покрытие (по результатам сбора нагрузок от слоев, см. рис. 1):

нормативная – 4,91 кН/м²;

расчетная – 6,07 кН/м².

Собственный вес балки принят по серии 1.462.1-1/88; коэффициент надежности $\gamma_f = 1,1$ по [10].

Временная нагрузка – снеговая S : нормативное значение веса снегового покрова 1,40 кН/м² [10, прил. К] для г. Орла; полное расчетное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия 1,21 кН/м².

Тип местности В; $c_e = 0,748$ (коэффициент, учитывающий снос снега с покрытия здания под действием ветра и иных факторов, принимаемый в соответствии с п. 10.7 [10]); коэффициент длительной части снеговой нагрузки 0,5 по табл. Д.1 прил. Д [10].

Сочетание нагрузок: основное по п. 6.2 [10].

Эпюры внутренних усилий определялись методами строительной механики, характерные ординаты моментов M , поперечных сил Q в местах коррозии и середине пролета. Расчетный пролет балки $L = 11,6$ м.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предварительно выполненный поверочный расчет железобетонной балки покрытия при нормальной среде ($\varphi_{b,cr} = 2,3$ по п. 6.1.16 [8]) позволил подтвердить установленную при обследовании марку 1 БСП 12-4 АтVСК-Н по серии 1.462.1-1/88.

Были произведены расчеты балки по предельным состояниям первой и второй группы [11]. В табл. 3. приведено сопоставление числовых значений ряда характерных величин результатов расчетов при нормальной и при агрессивной среде. Расчетное сечение для сопоставления преднапряженной арматуры в нижней грани A_{sp} : на расстоянии 4,7 м справа (в месте наибольшей коррозии, см. рис. 1).

Таблица 3

Результаты расчетов железобетонной балки покрытия

Показатель	Значение		
	при нормальной среде	при агрессивной среде (через 10 лет)	при агрессивной среде (через 20 лет)
Расчет по предельным состояниям первой группы – расчет по прочности по нормальному сечению по п. 9.2 [8]			
Запас по армированию рабочей преднапряженной арматуры A_{sp} (сечение в месте коррозии)	382 мм ² (21,4 %)	139 мм ² (9,9 %)	–253 мм ² (–18,0 %)
Расчет по предельным состояниям второй группы [8, 10]			
Полные суммарные потери предварительного напряжения $\Delta\sigma_{sp(2)}$	68,7 МПа (принято 100 МПа)	66,9 МПа (принято 100 МПа)	–
Момент трещинообразования M_{crc} (запас в процентах по моменту)	753,272 кНм (14,4 %)	638,875 кНм (2,1 %)	–
Прогиб балки f	–0,006 м	–0,001 5 м	–

Примечание. Прочерк означает расчетный выгиб балки вверх в середине пролета (условие табл. Д.1 прил. Д [10] выполняется).

На рис. 3 показан график запаса по армированию рабочей преднапряженной арматуры A_{sp} .

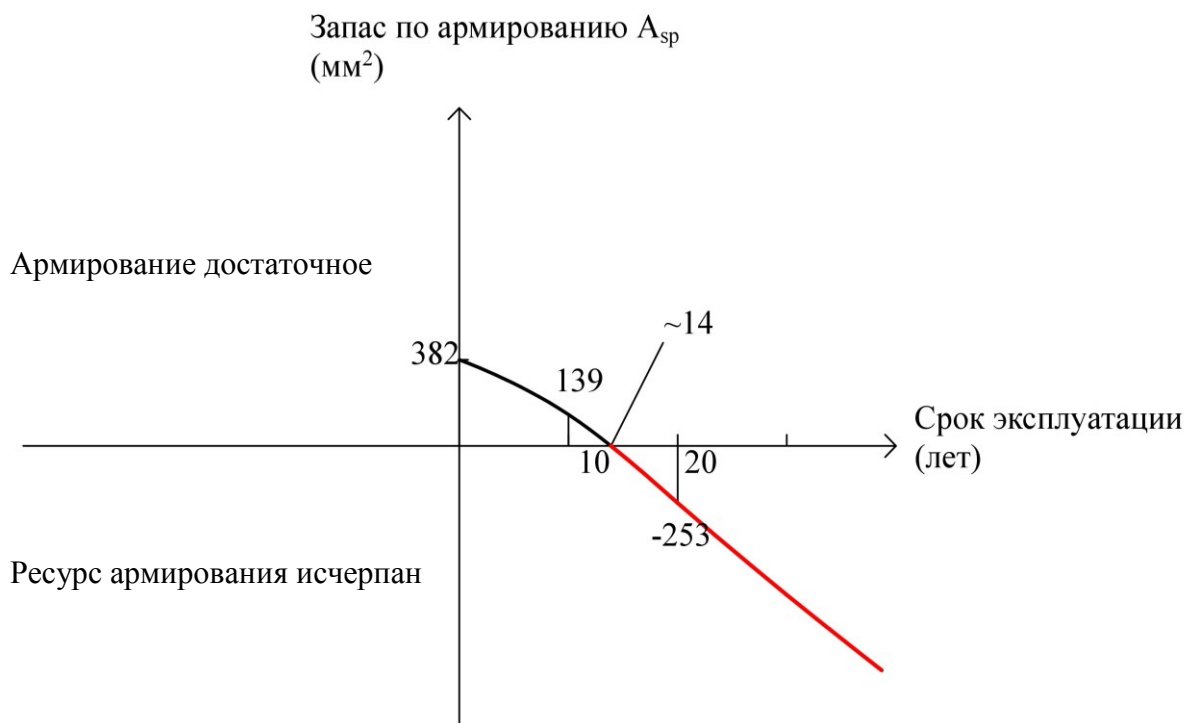


Рис. 3. График запаса по армированию рабочей преднапряженной арматуры A_{sp} (рисунок авторов)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный расчет железобетонной балки покрытия в существующем на момент обследования техническом состоянии и рассмотренных условиях эксплуатации позволил установить ее теоретический остаточный ресурс по армированию (запас по рабочей преднапряженной арматуре A_{sp}).

Произведенный анализ результатов позволил спрогнозировать срок службы балки в условиях среды разной степени агрессивности при предоставленных исходных данных по коррозии арматуры для выполнения расчетов, составивший порядка ~14 лет при условии непрерывного воздействия нагрузок и работе котлов.

Чтобы правильно оценить полученный результат, следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации котельных, как правило, не происходит непрерывного длительного и высокотемпературного воздействия на конструкции покрытия, поэтому полученный результат следует разложить на реальное время работы с учетом перерывов. Представляется, что данные для учета коррозии арматуры в расчетах были предоставлены с запасом в худшую сторону.

В случае отличных от рассмотренных случаев повреждений, коррозии в других местах (коррозия поперечной арматуры ближе к опорам или существенные сколы бетона в сжатой зоне, деградация бетона и пр.) следует рассмотреть возможные другие характерные показатели и подходы в расчетах [12], что открывает перспективу для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняев А.А., Савин С.Ю., Коробко В.И. Введение в специальность «Строительство»: учебник для высших учебных заведений. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 208 с.
2. Ягупов Б.А., Мигаль Р.Е. К вопросу оценки несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций, поврежденных коррозией // *Бетон и железобетон*. 2007. № 3. С. 28–30.
3. Моралес Х.Г., Фрага Э.С. Коррозия арматуры в бетоне. Механизмы, мониторинг и методы контроля: пер. с англ. М.: Техносфера, 2016. 328 с.
4. Малахов А.В., Косинов В.В., Марфин К.В. Обследование эксплуатируемых, переоборудованных и неэксплуатируемых промышленных зданий. *Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: Материалы IX научно-практической конференции*. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2018. С. 140–147.
5. Ахвердов И.Э., Соколов Б.С. Прогнозирование остаточного ресурса строительных конструкций с учетом коррозионного износа. Ростов н/Д.: Феникс, 2011. 224 с.
6. Крылов Б.А., Гусев Б.В. Тепловлажностный режим зданий котельных и его влияние на коррозию конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 8. С. 58–62.
7. Трофимов Б.Я., Королев Е.В. Влияние термовлажностных воздействий на долговечность бетонных и железобетонных конструкций энергетических объектов // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 11. С. 1423–1435.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции (с изм. № 1, 2). М.: Минстрой России, 2021. 160 с.
9. Михалевич Н.В., Шахова Е.Н. Железобетонные конструкции. Расчет двускатной предварительно напряженной железобетонной балки покрытия. Вологда: ВоГТУ, 2008. 36 с.
10. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия (с изм. № 1, 2, 3, 4): М.: Минстрой России, 2022. 102 с.
11. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2014. 23 с.
12. Методическое пособие по назначению срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл. М.: НИИЖБ, 2019. 127 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЧЕРНЯЕВ Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», 302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95. E-mail: Chernyev87@yandex.ru

МАРФИН Кирилл Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и материалов, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», 302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95. E-mail: marfinkirill@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Черняев А.А., Марфин К.В. Оценка остаточного ресурса и срока службы железобетонной балки покрытия здания котельной в условиях агрессивной среды // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 4 (28). С. 35–43.

**ASSESSMENT OF THE RESIDUAL LIFE AND SERVICE LIFE
OF A REINFORCED CONCRETE ROOF BEAM OF A BOILER HOUSE
IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT**

A.A. Chernyaev, K.V. Marfin

Orel State University named after I.S. Turgenev (Orel)

Abstract. Theoretical calculations and an analysis of the residual life and service life of a reinforced concrete roof beam are performed using the example of the surveyed boiler house building located in residential block 909 in Oryol. The beam is a prestressed reinforced concrete beam with a span of 12 m for roofs of buildings with flat and pitched roofs, manufactured according to series 1.462.1-1/88. The results of calculations for the reinforced concrete beam after technological impact with the formation of corrosion of the working prestressed reinforcement at the bottom face are presented. A theoretical graph of the change in the reinforcement reserve of the working prestressed reinforcement over time is constructed. The theoretical service life of the beam under the considered operating conditions is determined.

Keywords: reinforced concrete roof beam; corrosion of steel reinforcement; residual life; service life.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

CHERNYAEV Andrey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Orel State University named after I.S. Turgenev, 95, Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russia. E-mail: Chernyev87@yandex.ru

MARFIN Kirill Vasilyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures and Materials, Orel State University named after I.S. Turgenev, 95, Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russia. E-mail: marfinkirill@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Chernyaev A.A., Marfin K.V. Of a reinforced concrete roof beam of a boiler house in an aggressive environment // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 35–43.