

УДК 624.012.45.042.3.046.539.4:620.193.2

**Шамшина Ксения Викторовна**

ФГБОУ ВПО «Пензенский Государственный университет архитектуры и строительства»  
Россия, Пенза<sup>1</sup>  
Аспирант  
E-Mail: Kisek90@mail.ru

**Мигунов Виктор Николаевич**

ФГБОУ ВПО «Пензенский Государственный университет архитектуры и строительства»  
Россия, Пенза  
Кандидат технических наук, доцент  
E-Mail: Viktor5043@rambler.ru

**Методика и результаты длительных  
экспериментальных исследований кратковременной  
прочности и жёсткости прямых моделей  
железобетонных конструкций с коррозионными  
продольными трещинами в защитном слое бетона**

---

<sup>1</sup> 440028 г. Пенза, ул. Г. Титова 28.

**Аннотация.** Отмечается определяющее влияние на долговечность железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных хлоридсодержащих средах, коррозионного поражения арматуры, вызывающего нарушение сцепления её с бетоном и, как следствие, образование коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона. Подчёркивается отсутствие в научной литературе экспериментальных исследований по влиянию коррозионных продольных трещин на изменение прочностных и деформационных характеристик железобетонных конструкций.

Констатируется отсутствие в действующих нормативных документах по расчёту и защите железобетонных конструкций положений, определяющих возникновение и наличие коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона, при определении остаточных деформативных и несущих свойств.

Разработаны и апробированы в экспериментальном исследовании методики получения коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона и определения жёсткости внецентренно сжатых железобетонных элементов. По данным результатов длительных натуральных и кратковременных лабораторных испытаний прямых моделей железобетонных конструкций получены графические и функциональные зависимости изменения кратковременной жёсткости и прочности при действии как центральной так и внецентренной сжимающей нагрузки от геометрических параметров коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона.

Проведён сравнительный анализ влияния центральной и внецентренной сжимающей нагрузки на изменение несущей способности прямых моделей в зависимости от геометрических параметров коррозионных продольных трещин.

**Ключевые слова:** прямые модели обычных железобетонных элементов, поперечные трещины, кривизна, жёсткость, переменная ступенчатая повторная и постоянная нагрузки, неагрессивная газоздушная и агрессивная жидкая хлоридсодержащая среды, сбалансированный многофакторный эксперимент.

Только на железнодорожной сети дорог нашей страны протяжённость железобетонных мостов составляет 60-65% от общей их длины. При проектировании железобетонных конструкций мостов различного назначения в России нормативный срок их долговечности принимается не менее 80 лет. Однако, средний срок службы значительной части заменяемых пролётных строений имеет 35-45 лет [1, 2].

В эксплуатируемых железобетонных конструкциях, испытывающих воздействие агрессивных газозвудушных и жидких хлоридсодержащих сред, одним из наиболее распространённых видов повреждений, до 35% от общего их количества, является нарушение сцепления арматуры с бетоном в результате коррозии арматуры [3, 4, 5]. Карбонизация бетона и последующая хлоридная коррозия арматуры в результате воздействия на неё хлорид – ионов приводят к многократному увеличению продуктов коррозии арматуры в объёме. Объём продуктов коррозии стали зависит от количества кислорода и по расчётам [6] составляет в 2,9 раза больше, а по другим оценкам – от 2,5 до 6 раз больше [7], чем объём исходного металла.

Коррозионное разрушение арматуры в железобетонных элементах при хлоридной коррозии возрастает в карбонизированном бетоне поперечных силовых трещин. При карбонизации бетона критическая концентрация хлоридов, при которой начинается коррозия арматуры, уменьшается в два раза. При этом, коррозия стали резко интенсифицируется на достаточно протяжённых участках арматуры, что и вызывает появление коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона с последующим его отслоением уже после двух лет эксплуатации конструкции в агрессивной среде [8].

В настоящее время оценка степени коррозионного повреждения арматуры железобетонных эксплуатируемых конструкций, главным образом, проводится по ширине раскрытия коррозионных продольных трещин [9]. Коррозионные продольные трещины в защитном слое бетона в изгибаемых железобетонных элементах из тяжёлого бетона без предварительного напряжения нарушают сцепление с арматурой не менее 70% от первоначального значения и снижают несущую способность нормальных сечений до 30% [5].

Результаты натурного обследования в 2003г. шестидесяти трёх автодорожных балочных железобетонных мостов, расположенных в различных частях Саратовской области, показали, что на продольные трещины в бетоне и разрушение защитного слоя бетона в результате коррозии арматуры приходится соответственно 12,7% и 57,1% от общего количества повреждений [1, 10].

Несмотря на значительное количество эксплуатируемых железобетонных конструкций с коррозионными продольными трещинами в защитном слое бетона, в действующих нормативных документах по расчёту и защите железобетонных конструкций от коррозии возникновение и наличие коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона не учитываются при определении их остаточных деформативных и несущих свойств [11].

Программа проведённого длительного экспериментального исследования предусматривала изучение влияния геометрических параметров коррозионных продольных трещин на изменение кратковременной прочности одиннадцати центрально сжатых железобетонных элементов, три из которых являлись контрольными, а также кратковременной жёсткости и прочности семи внецентренно сжатых железобетонных образцов, два из которых были контрольными. По линейным размерам и механическим характеристикам исследуемые железобетонные элементы являлись прямыми моделями колонн [11]. В верхней и нижней частях они имеют односторонние консоли с длиной 12 см. Общая длина образцов и размеры их поперечного сечения в центральной части соответственно составляют 100 см и 12 × 10 см с толщиной защитного слоя бетона 15 мм. Модели армированы объёмным арматурным каркасом с несущей арматурой 4 Ø8 мм класса А III и распределительной - Ø5 мм класса В<sub>p</sub> -

1. Бетон изготовлен на портландцементе марки 400 и гранитном щебне фракции 5 -10 мм с водоцементным отношением В/Ц = 0,45.

Во время изготовления образцов для нейтрализации щелочи поровой влаги бетона и активизации коррозионного процесса на арматуре в бетонную смесь вводились хлорид – ионы в виде добавки 5% NaCl от массы цемента. Опытные железобетонные элементы в процессе длительного испытания два раза в сутки увлажнялись водопроводной водой. Данные условия по интенсивности коррозионного поражения арматуры характеризуются как сильноагрессивные [12].

Ширина раскрытия коррозионных продольных трещин ежедневно определялась с помощью трубки-микроскопа МПБ-2 с кратностью увеличения  $24^x$  и ценой деления 50 мкм. Период до появления коррозионных продольных трещин на образцах с добавками составил 17 месяцев, приравняющийся к 20-ти годам при эксплуатации в слабоагрессивной среде с хлорид-ионами [13].

Железобетонные элементы после 3,2 лет экспериментального исследования были подвергнуты в лабораторных условиях кратковременному испытанию до разрушения соответственно центральной и внецентральной сжимающей нагрузкой для определения прочностных и деформативных свойств.

По окончании испытания образцы, испытывающиеся в агрессивных условиях, имели глубину карбонизации бетона 5мм, в неагрессивных – 7мм, а среднюю прочность бетона на сжатие соответственно 32,1 и 32,2 МПа.

Кратковременная жесткость ( $D$ ) внецентренно сжатых образцов определялась с помощью разработанной методики, позволяющей определить радиус кривизны по величинам приращения линейных деформаций на сжатой и растянутой гранях [14].

Изгибающий момент во время лабораторных испытаний вызывался наличием эксцентриситета  $e = 30$  мм между геометрическим центром центральной части колонны и точкой приложения сжимающей нагрузки.

Результаты экспериментальных исследований показывают наличие функциональных зависимостей изменения прочности  $P_{разр}$ , жёсткости  $D$  образцов и соответствующих характеристик их изменения  $\Delta P_{разр}$ ,  $\Delta D_{разр}$  от значений ширины раскрытия ( $a_T^{cp}$ ), ( $a_{T_{max}}^{cp}$ ) и длины ( $l_T^{cp}$ ), ( $l_{T_{max}}^{cp}$ ) коррозионных продольных трещин.

Уравнения регрессии исследуемых механических характеристик образцов при действии центральной и внецентральной приложенными сжимающими нагрузками в зависимости от геометрических параметров коррозионных продольных трещин приведены соответственно в табл. 1, на рис. 1 и рис.2, а также в табл. 2. и на рис. 3. и рис. 4. В таблицах и рисунках используются следующие размерности механических и геометрических характеристик:  $P_{разр}$  [кг];  $\Delta P$ , [%];  $a_T^{cp}$ ,  $a_{T_{max}}^{cp}$  и  $l_T^{cp}$  и  $l_{T_{max}}^{cp}$ , [мм].

**Таблица 1**

**Уравнения регрессии изменения прочности  $P_{разр}$  и соответствующих величин их уменьшения  $\Delta P_{разр}$  для опытных образцов, испытанных на центральное сжатие, в зависимости от геометрических характеристик коррозионных продольных трещин**

$$P_{разр} = f(a_T^{cp}); \Delta P_{разр} = f(a_T^{cp}); P_{разр} = f(\ell_T^{cp}); \Delta P_{разр} = f(\ell_T^{cp});$$

$$P_{разр} = f(a_{T_{max}}^{cp}); \Delta P_{разр} = f(a_{T_{max}}^{cp}); P_{разр} = f(\ell_{T_{max}}^{cp}); \Delta P_{разр} = f(\ell_{T_{max}}^{cp}).$$

$$P_{разр} = 35233 - 20667a_T^{cp}$$

$$\Delta P_{разр} = 58,5(a_T^{cp} - 0,02)$$

$$P_{разр} = 35233 - 48(\ell_T^{cp} - 23)$$

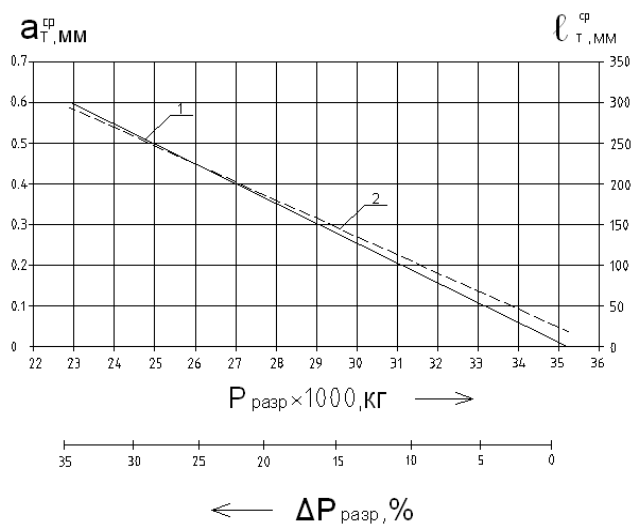
$$\Delta P_{разр} = 0,135(\ell_T^{cp} - 25)$$

$$P_{разр} = 35233 - 16444a_{T_{max}}^{cp}$$

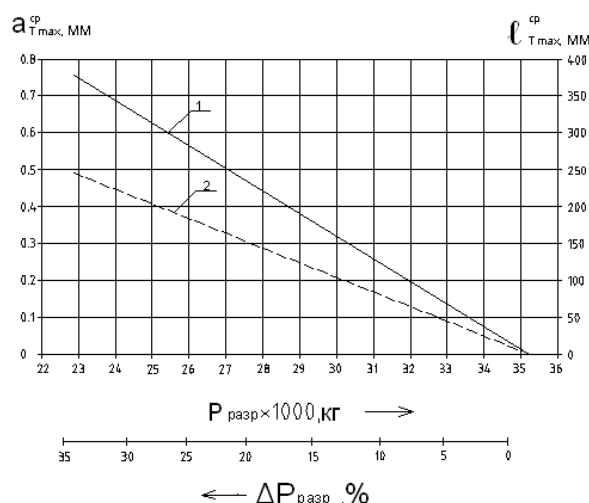
$$\Delta P_{разр} = 48(a_{T_{max}}^{cp} - 0,02)$$

$$P_{разр} = 35233 - 50,75\ell_{T_{max}}^{cp}$$

$$\Delta P_{разр} = 0,148(\ell_{T_{max}}^{cp} - 10)$$



**Рис. 1.** Зависимости изменения прочности  $P_{разр}$  и относительной величины её уменьшения ( $\Delta P_{разр}$ ) при центральном сжатии от средних значений ширины раскрытия ( $a_T^{cp}$ ) и длины ( $\ell_T^{cp}$ ) коррозионных продольных трещин; 1 и 2 – соответственно: (—)  $a_T^{cp}$  и (-----)  $\ell_T^{cp}$ .

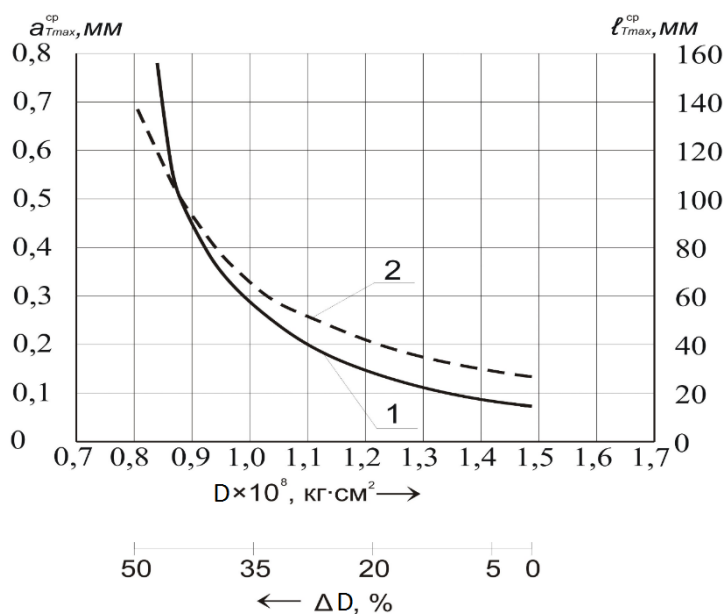


**Рис. 2.** Зависимости изменения прочности  $P_{разр}$  и относительной величины её уменьшения ( $\Delta P_{разр}$ ) при центральном сжатии от средних максимальных значений ширины раскрытия ( $a_{T_{max}}^{cp}$ ) и длины ( $l_{T_{max}}^{cp}$ ) коррозионных продольных трещин; 1 и 2 – соответственно: (—)  $a_{T_{max}}^{cp}$  и (-----)  $l_{T_{max}}^{cp}$ .

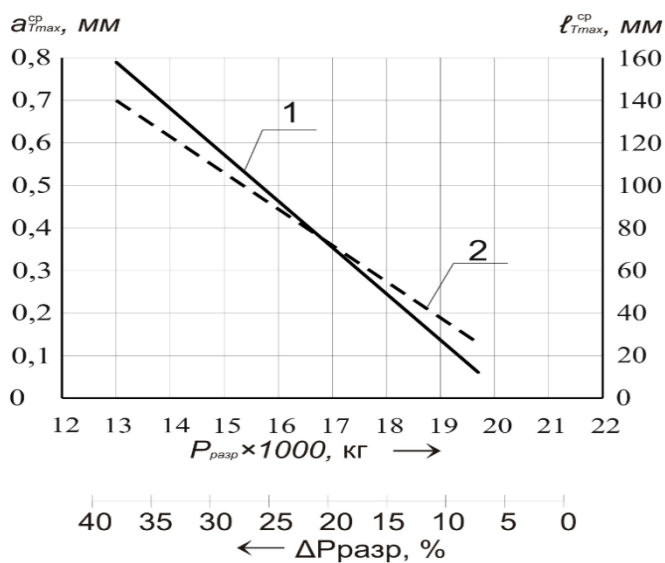
**Таблица 2**

**Уравнения регрессии изменения жёсткости  $D$ , прочности  $P_{разр}$  и соответствующих величин их уменьшения  $\Delta D$  и  $\Delta P_{разр}$  опытных образцов, испытанных на внецентренную сжимающую нагрузку, в зависимости от геометрических характеристик коррозионных продольных трещин**

УРАВНЕНИЯ ФУНКЦИЙ:	
$D = f(a_{T_{max}}^{cp}); D = f(l_{T_{max}}^{cp}); \Delta D = f(a_{T_{max}}^{cp}); \Delta D = f(l_{T_{max}}^{cp}); P_{разр} = f(a_{T_{max}}^{cp});$ $P_{разр} = f(l_{T_{max}}^{cp}); \Delta P_{разр} = f(a_{T_{max}}^{cp}); \Delta P_{разр} = f(l_{T_{max}}^{cp}).$	
ЖЁСТКОСТЬ	ПРОЧНОСТЬ НА СЖАТИЕ
$D = 0,8 + 1,1 \cdot e^{-5,5 a_{T_{max}}^{cp}}$	$P_{разр} = 20300 - 9264 \cdot a_{T_{max}}^{cp}$
$D = 0,7 + 1,2 \cdot e^{-0,018 l_{T_{max}}^{cp}}$	$P_{разр} = 21218 - 58,7 \cdot l_{T_{max}}^{cp}$
$\Delta D = 50 - 77 e^{-5,5 a_{T_{max}}^{cp}}$	$\Delta P_{разр} = 3 + \frac{a_{T_{max}}^{cp}}{0,0232}$
$\Delta D = 58 - 86 e^{-0,018 l_{T_{max}}^{cp}}$	$\Delta P_{разр} = \frac{l_{T_{max}}^{cp}}{3,68}$



**Рис. 3.** Зависимости изменения жёсткости  $D$  и относительной величины её уменьшения  $\Delta D$  при внецентренном сжатии от средних максимальных значений ширины раскрытия ( $a_{T_{max}}^{cp}$ ) и длины ( $l_{T_{max}}^{cp}$ ) коррозионных продольных трещин, где 1 и 2 – соответственно: (—)  $a_{T_{max}}^{cp}$  и (- - -)  $l_{T_{max}}^{cp}$



**Рис. 4.** Зависимости изменения прочности на сжатие  $P_{разр}$  и относительной величины её уменьшения  $\Delta P_{разр}$  при внецентренном сжатии от средних максимальных значений ширины раскрытия ( $a_{T_{max}}^{cp}$ ) и длины ( $l_{T_{max}}^{cp}$ ) продольных трещин, где 1 и 2 – соответственно: (—)  $a_{T_{max}}^{cp}$  и (- - -)  $l_{T_{max}}^{cp}$ .

**Получены следующие выводы** по результатам проведённого экспериментального исследования на прямых моделях железобетонных конструкций :

1) коррозионные продольные трещины с усреднёнными показателями  $a_{T_{max}}^{cp} = 0,750$  мм,  $a_T^{cp} = 0,602$  мм и  $\ell_{T_{max}}^{cp} = 243$  мм,  $\ell_T^{cp} = 295$  мм в защитном слое бетона на гранях опытных образцов при действии центральной сжимающей нагрузки снижают прочность прямых моделей железобетонных конструкций на 35,9%;

2) коррозионные продольные трещины с  $a_{T_{max}}^{cp} = 0,788$  мм и  $\ell_{T_{max}}^{cp} = 140$  мм уменьшают жёсткость внецентренно – сжатых с малым эксцентриситетом прямых моделей железобетонных конструкций на 50,3%, а прочность на 38,4%;

3) действие центрально приложенной сжимающей нагрузки по сравнению с действием сжимающей нагрузки, приложенной с малым эксцентриситетом при одинаковых геометрических параметрах коррозионных продольных трещин, на 7% меньше снижает несущую способность опытных железобетонных образцов.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Маринин, А.Н. Сопротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации/ А.Н. Маринин, Р.Б. Гарибов, И.Г.Овчинников. Саратов: «Рата», 2008. – 259 с.
2. Овчинников И.Г. Раткин В.В. Землянский А.А. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. 232 с.
3. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
4. Пинус Б.И. Поведение железобетонных конструкций в сооружениях химической промышленности / Б.И. Пинус, // Бетон и железобетон – 1978. - №11 – С. 37-38.;
5. Филатов В.Б. Влияние эксплуатационных повреждений, снижающих сцепление арматуры с бетоном, на прочность изгибаемых железобетонных конструкций: дисс. канд. техн. наук. – М.: НИИЖБ, 1988. – 250с.
6. Ойт, Л.В. Коррозия и защита арматуры в золо- и шлакобетонах/ Л.В. Ойт // Изв. Вузов. «Строительство и архитектура». – 1974. – №5. – С.37-38.
7. Степанов, С.Н. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций, работающих в агрессивных средах с учётом коррозионного износа рабочей арматуры: дис.... канд. техн. наук– Нижний Новгород: НГАСУ, 2005. – 180 с.
8. Ванникова, Д.М. Исследование процессов коррозии и защита стен производственных зданий, эксплуатируемых в условиях хлорной агрессии/ автореф. дис.... канд. техн. наук. – М.: МАРХИ, 1962. – 22 с.
9. Бондаренко В.М. Развитие теории реконструированного железобетона / В.М. Бондаренко, С.И. Меркулов//Проблемы обеспечения безопасности строительного фонда России: Матер. III Межд. Академ. чтений РААСН. – Курск: Изд-во Курск, ГТУ, 2004.- С. 10-22.
10. Маринин А.Н. Состояние железобетонных мостов Саратовской области/А.Н. Маринин, И.Г. Овчинников//Надёжность и долговечность строительных материалов и конструкций: материалы III Междунар. Науч.-техн. конф: в 4ч. – Волгоград: Волг. ГАСА, 2003 – Ч.1. – С.92-95.
11. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами. Часть2: моногрф. / В.Н. Мигунов. - Пенза: ПГУАС, 2013. - 304
12. Мигунов В.Н. Влияние внутренних факторов на скорость образования продольных трещин железобетонных конструкций с учетом коррозионного поражения арматуры класса А-I и А-III/ В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. - 2003. - №3. - С. 121-123.
13. Мигунов В.Н. Влияние переменной нагрузки и амплитуды изменения ширины раскрытия трещин на коррозионное поражение арматуры в трещинах железобетонных конструкций / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. - 2002. - №10. - С. 134-137.с.
14. Мигунов В.Н. Длительные экспериментальные исследования влияния продольных трещин в защитном слое бетона на изменение долговечности, кратковременной жесткости и прочности внецентренно-сжатых с малым эксцентриситетом строительных обычных железобетонных элементов / В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников // Изв. вузов. Строительство. - 2010. - №2. - С. 125-130.

**Рецензент:** Заместитель Председателя Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, доктор технических наук, профессор Овчинников Игорь Георгиевич.

**Ksenia Shamshina**

Penza State University of Architecture and Construction  
Russia, Penza  
E-Mail: Kisek90@mail.ru

**Viktor Migunov**

Penza State University of Architecture and Construction  
Russia, Penza  
E-Mail: Viktor5043@rambler.ru

## **Technique and results of long-term experimental studies on the kinetics of curvature bent conventional reinforced concrete elements under the action of a variable speed re-load in non-aggressive and aggressive environments**

**Abstract:** Marked a decisive influence on the durability of concrete structures operating in aggressive chloride-containing environments, corrosion damage valve causing debonding it with concrete and, as a consequence, the formation of corrosive longitudinal cracks in the protective layer of concrete. Emphasizes the lack of scientific literature of experimental studies on the influence of corrosion of longitudinal cracks on the change of strength and deformation characteristics of reinforced concrete structures.

There has been lack of existing regulations on the calculation and protection of concrete structures provisions governing the emergence and presence of corrosive longitudinal cracks in the protective layer of concrete, in determining the residual deformability and bearing properties.

Developed and tested in a pilot study methods of obtaining corrosive longitudinal cracks in the protective layer of concrete and determining the stiffness of eccentrically compressed concrete elements. According to the results natural long-term and short-term laboratory tests of direct modeling of reinforced concrete structures obtained graphical and functional changes in the short-term depending on the stiffness and strength of the action as the central and eccentric compressive load on the geometric parameters of corrosion of longitudinal cracks in the protective layer of concrete.

A comparative analysis of the impact of central and eccentric compressive load on the bearing capacity of direct change models depending on the geometric parameters of corrosion of longitudinal cracks.

**Keywords:** direct model; concrete elements; chloride-containing environments; reinforcement; concrete; corrosion of longitudinal cracks; strength; stiffness; central and eccentric compressive load.

## REFERENCES

1. Marinin, A.N. Soprotivlenie zhelezobetonnyh konstrukcij vozdeystviyu hloridnoj korrozii i karbonizacii/ A.N. Marinin, R.B. Garibov, I.G.Ovchinnikov. Saratov: «Rata», 2008. – 259 s.
2. Ovchinnikov I.G. Ratkin V.V. Zemljanskij A.A. Modelirovanie povedenija zhelezobetonnyh jelementov konstrukcij v uslovijah vozdeystvija hloridsoderzhashhих sred. Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t, 2000. 232 s.
3. Alekseev, S.N. Korroziionnaja stojkost' zhelezobetonnyh konstrukcij v agressivnoj promyshlennoj srede / S.N. Alekseev, N.K. Rozental'. – M.: Strojizdat, 1976. – 205 s.
4. Pinus B.I. Povedenie zhelezobetonnyh konstrukcij v sooruzhenijah himicheskoj promyshlennosti / B.I. Pinus, // Beton i zhelezobeton – 1978. - №11 – S. 37-38.
5. Filatov V.B. Vlijanie jekspluatacionnyh povrezhdenij, snizhajushhих scepnenie armatury s betonom, na prochnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij: diss. kand. tehn. nauk. – M.: NIIZhB, 1988. – 250s.
6. Ojt, L.V. Korrozija i zashhita armatury v zolo- i shlakobetonah/ L.V. Ojt // Izv. Vuzov. «Stroitel'stvo i arhitektura». – 1974. – №5. – S.37-38.
7. Stepanov, S.N. Prognozirovanie dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij, rabotajushhих v agressivnyh sredah s uchjotom korroziionnogo iznosa rabochej armatury: dis.... kand. tehn. nauk– Nizhnij Novgorod: NGASU, 2005. – 180 s.
8. Vannikova, D.M. Issledovanie processov korrozii i zashhita sten proizvodstvennyh zdaniy, jekspluatiruemyh v uslovijah hlornoj agressii/ avtoref. dis.... kand. tehn. nauk. – M.: MARHI, 1962. – 22 s.
9. Bondarenko V.M. Razvitie teorii rekonstruirovannogo zhelezobetona / V.M. Bondarenko, S.I. Merkulov//Problemy obespechenija bezopasnosti stroitel'nogo fonda Rossii: Mater. III Mezhd. Akadem. chtenij RAASN. – Kursk: Izd-vo Kursk, GTU, 2004.- S. 10-22.
10. Marinin A.N. Sostojanie zhelezobetonnyh mostov Saratovskoj oblasti/A.N. Marinin, I.G. Ovchinnikov//Nadjozhnost' i dolgovechnost' stroitel'nyh materialov i konstrukcij: materialy III Mezhdunar. Nauch.-tehn. konf: v 4ch. – Volgograd: Volg. GASA, 2003 – Ch.1. – S.92-95.
11. Migunov V.N. Jeksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie korrozii i dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij s treshhinami. Chast'2: monogr. / V.N. Migunov. - Penza: PGUAS, 2013. – 304.
12. Migunov V.N. Vlijanie vnutrennih faktorov na skorost' obrazovanija prodol'nyh treshhin zhelezobetonnyh konstrukcij s uchjetom korroziionnogo porazhenija armatury klassa A-I i A-III/ V.N. Migunov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. - 2003. - №3. - S. 121-123.
13. Migunov V.N. Vlijanie peremennoj nagruzki i amplitudy izmenenija shiriny raskrytija treshhin na korroziionnoe porazhenie armatury v treshhinah zhelezobetonnyh konstrukcij / V.N. Migunov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. - 2002. - №10. - S. 134-137.s.
14. Migunov V.N. Dlitel'nye jeksperimental'nye issledovanija vlijanija prodol'nyh treshhin v zashhitnom sloe betona na izmenenie dolgovechnosti, kratkovremennoj zhest-kosti i prochnosti vnecentrenno-szhatyh s malym jekscentrisitetom stroitel'nyh obychnyh zhelezobetonnyh jelementov / V.N. Migunov, I.G. Ovchinnikov // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. - 2010. - №2. - S. 125-130.