

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ / CONSTRUCTION MATERIALS

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2022.29.2>

КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ КОРРОЗИОННО ПОВРЕЖДЕННОГО БЕТОНА ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ И ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

Научная статья

Минасян А.А.*

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (1747210[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматривается критерий прочности коррозионно-поврежденного бетона для случаев плоского напряженного состояния. В системе координат главных нормальных напряжений критерий описывает поверхность эллипса. Коэффициенты снижения прочности бетона в зависимости от времени и от уровня напряженного состояния получены экспериментальным путем. Приводится остаточный ресурс несущей способности коррозионно-поврежденных плит перекрытия по критерию прочности бетона по результатам проведенных натурных испытаний и расчета конструкций с использованием фактических характеристик материалов конструкций. Выполненные исследования позволяют оценить несущую способность коррозионно-поврежденных железобетонных плит в зависимости от относительной величины разрушения бетона растянутой зоны без выполнения дополнительных экспериментов и расчетов.

Ключевые слова: коррозия бетона, критерий прочности, остаточный ресурс, несущая способность, плоское напряженное состояние.

CRITERIA FOR STRENGTH OF A CORROSIVELY DAMAGED CONCRETE UNDER FLAT STRESS AND RESIDUAL LIFE OF THE BEARING CAPACITY OF THE COVER PLATES

Research article

Minasyan A.A.*

V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Structures, Moscow, Russia

* Corresponding author (1747210[at]mail.ru)

Abstract

Discusses the strength criterion of corrosively damaged concrete in the case of a flat stressed state. In the coordinate system of principal normal stresses, the criterion describes the surface of an ellipse. The coefficients of reducing the strength of concrete depending on time and the level of stress were obtained experimentally. In this case, the characteristic dimensions of the ellipse depend on the kinetics of corrosion processes, depending on the time and stress state of the structures. The performed studies allow us to evaluate the bearing capacity of corrosion-damaged reinforced concrete slabs depending on the relative magnitude of the destruction of the stretched zone concrete without performing additional experiments and calculations.

Keywords: corrosion of concrete, strength criterion, residual resource, bearing capacity, flat stress state.

Введение

Воздействие воздушно-влажной среды и напряженного состояния вызывают повреждение плит перекрытия (незаконсервированных зданий) разной степени и существенное изменение напряженно-деформированного состояния конструкций. В зависимости от воздушно-влажной среды, от времени воздействия нагрузки на конструкции изменяются прочность и деформативные свойства, как отдельных участков конструкций, так и конструкций в целом. При остановке строительства без консервации зданий железобетонные плиты перекрытий в наибольшей степени подвергаются воздействию воздушно-влажной среды г. Москвы в определенный период времени (10–12 лет), оказывающему влияние на прочностно-деформационные характеристики бетона и несущую способность конструкций [1], [2].

Изменение прочности бетона отдельных элементов конструкций приводит к изменению напряжений в сжатой и растянутой части железобетонного элемента. Поэтому для решения задач напряженно-деформированного состояния железобетонных плит с учетом совмещения напряжений и протекающих коррозионных процессов в структуре бетона является критерийный метод оценки несущей способности [4], [5], [6], [7].

Методы и принципы исследования

В качестве основного параметра технического состояния железобетонных плит перекрытия для определения остаточного ресурса принимается несущая способность конструкций.

При влиянии воздушно-влажной среды на конструкцию изменение несущей способности можно анализировать на трех этапах:

I этап – влияние воздушно-влажной среды на конструкцию железобетонных плит перекрытия, отклонение от нормальных условий эксплуатации;

II этап – образование микротрещин в бетоне и коррозия арматуры. Возникновение и развитие процессов, изменяющих прочностные и деформационные свойства материалов конструкций, появление дефектов и повреждений;

III этап – достижение предельных прочностных и деформационных значений материалов конструкций.

За критерий снижения прочности бетона плиты по экспериментальным данным установлена зависимость $\gamma_{Rbt} = f(\alpha_{bt}, \omega_{bt})$. Исчерпание несущей способности рассматривается во времени и определяется в зависимости от изменения прочности и напряженно-деформированного состояния. Данная зависимость характеризует изменение прочности бетона во времени под воздействием окружающей среды до определенного критического значения, после которого происходит разрушение конструкции в момент восприятия ею максимальной нагрузки. При превышении значений критериев прочности начинается резкий процесс снижения несущей способности конструкций плиты. Данный процесс приводит к разрушению отдельных участков конструкций, когда происходит увеличение параметров микротрещин на критической стадии трещиностойкости. К моменту критического развития трещин деформации сжатой грани плиты достигают предельной величины. Дальнейшее деформирование сопровождается соединением трещин, что приводит к разрушению отдельных участков и снижению несущей способности.

Критерии прочности записываются в виде неравенств и показывают, при каких условиях конструкция работает в упругой стадии, когда происходит образование трещин и наступает разрушение.

Образование трещины в растянутой зоне не происходит, если выполняется условие:

$$\sigma_1 \leq \sigma_{bt} = R_{bt}(t) = R_{bt} \cdot \gamma_{Rbt} \quad (1)$$

где σ_1 – растягивающее напряжение в бетоне; σ_{bt} – максимально допустимое растягивающее напряжение, $\gamma_{Rbt} = f(\alpha_{bt}, \omega_{bt})$ – критерия прочности (см. ниже).

При нарушении условия (1) происходит образование трещин.

В стадии трещинообразования условия прочности согласно проф. Н.И. Карпенко и др. [8], [9], записывается:

$$\sigma_2 \leq \sigma = R_{bt}(t) + \sigma_s \mu_s \quad (2)$$

где σ_s – осевое напряжение в арматуре, соответствующее моменту исчерпания прочности бетона на растяжение. Вычисляется через деформации арматуры ϵ_s , которые приравниваются к деформациям бетона в момент исчерпания прочности бетона.

Прочностные характеристики бетона в зонах сжатия и растяжения определяется по [3].

В процессе повреждения бетона в условиях воздушно-влажного воздействия достаточно важное влияние имеет напряженное состояние конструкций плиты, которое ускоряет развитие микротрещин, снижает сцепление между компонентами в структуре бетона. Трещины в бетоне развиваются по разным механизмам и оказывают доминирующее влияние на снижение несущей способности конструкций плиты. Достигая критических значений в процессе воздействия нагрузки, они приводят к разрушениям и локальным нарушениям сплошности.

Для плоского напряженного состояния критерий прочности коррозионно-поврежденного бетона (плоское напряженное состояние) определяется по формуле:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \frac{1}{2} \sigma_1 \sigma_2 - ((1 - \alpha_{Rb} \cdot \omega_b \cdot k_b) R_b) - ((1 - \alpha_{Rbt} \cdot \omega_{bt} \cdot k_{bt}) R_{bt}) \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) - ((1 - \alpha_{Rb} \cdot \omega_b \cdot k_b) R_b) \cdot ((1 - \alpha_{Rbt} \cdot \omega_{bt} \cdot k_{bt}) R_{bt}) = 0 \quad (3)$$

где выражения $(1 - \alpha_{Rb} \cdot \omega_b \cdot k_b) R_b$ и $(1 - \alpha_{Rbt} \cdot \omega_{bt} \cdot k_{bt}) R_{bt}$ – соответственно пределы прочности коррозионно-поврежденного бетона при сжатии и растяжении.

Построение графиков критерия прочности для плоского напряженного состояния выполнено по формулам:

$$\sigma_{1max,min} = \frac{2}{3} (R_b(t) - R_{bt}(t)) \pm 4 \sqrt{\frac{2((R_b(t) - R_{bt}(t))^2)}{45} + \frac{1}{15} ((R_b(t) \cdot R_{bt}(t)))} \quad (4)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{4} + ((R_b(t) \cdot R_{bt}(t))) \quad (5)$$

Основные результаты

Используя зависимости изменения прочности бетона и времени воздействия воздушно-влажной среды, получены соответствующие графики критериев прочности бетона коррозионно-поврежденной плиты. На рисунке 1 представлен график критериев прочности в воздушно-влажной среде г. Москвы. Предельная поверхность – эллипс, построена по разработанной теории проф. Г.А. Гениева, В.И. Колчунова, Н.В. Клюевой, К.П. Пятикрестовского [7], [11], [12]. При увеличении времени воздействия окружающей среды изменяется предельная поверхность эллипса, соответствующая критерию прочности.

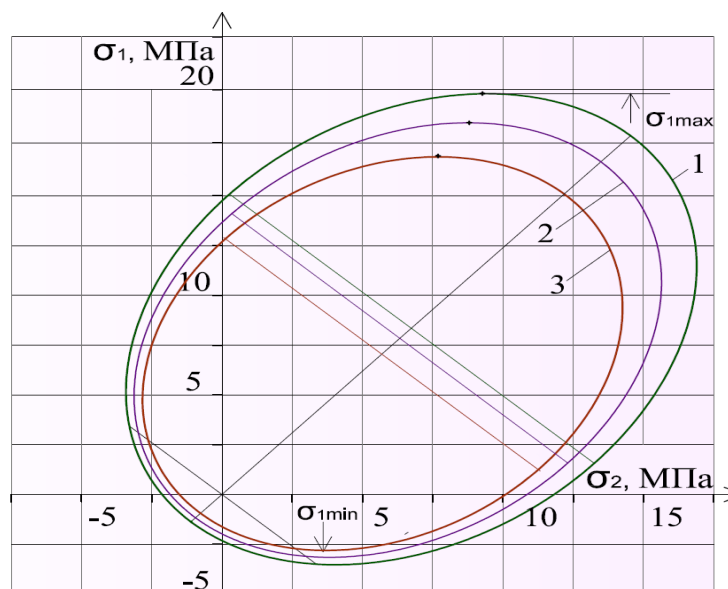


Рис. 1 – График критерия прочности в натуральных климатических условиях:
1 – 1 год; 2 – 5 лет; 3 – 10 лет

При этом коэффициенты снижения прочности бетона в зависимости от времени и от уровня напряженного состояния получены в экспериментальных исследованиях автора. Характерные размеры эллипса зависят от кинетики коррозионных процессов зависящие от времени и напряженного состояния конструкций.

В качестве основного параметра технического состояния железобетонных плит перекрытия для определения остаточного ресурса принимается несущая способность конструкций.

Таблица 1 – Схема повреждения

h_p — глубина разрушения бетона растянутой зоны, мм	Степень повреждения
≤ 15	2-й
≤ 25	3-й
≤ 35	4-й

При определении остаточного ресурса несущей способности железобетонных плит перекрытий в качестве характеристик определяется следующее:

- геометрические параметры конструкции;
- величины защитных слоев бетона;
- прочность бетона во времени с обеспеченностью 0,95;
- диаграммы деформирования бетона и арматуры;
- коррозия арматуры, наличие трещин и их расположение.

На рисунке 2 представлены результаты расчета поврежденной плиты перекрытия.

Схема повреждения нижней зоны плиты и характер глубины приведены в таблице 1.

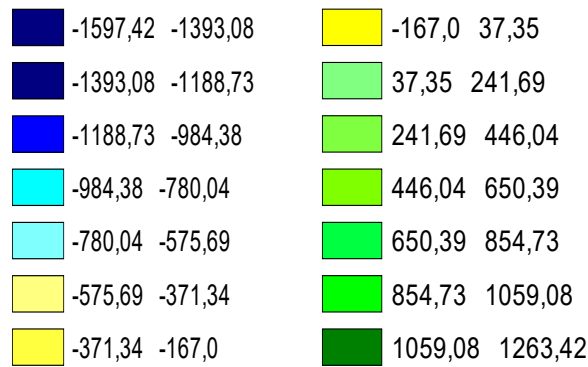
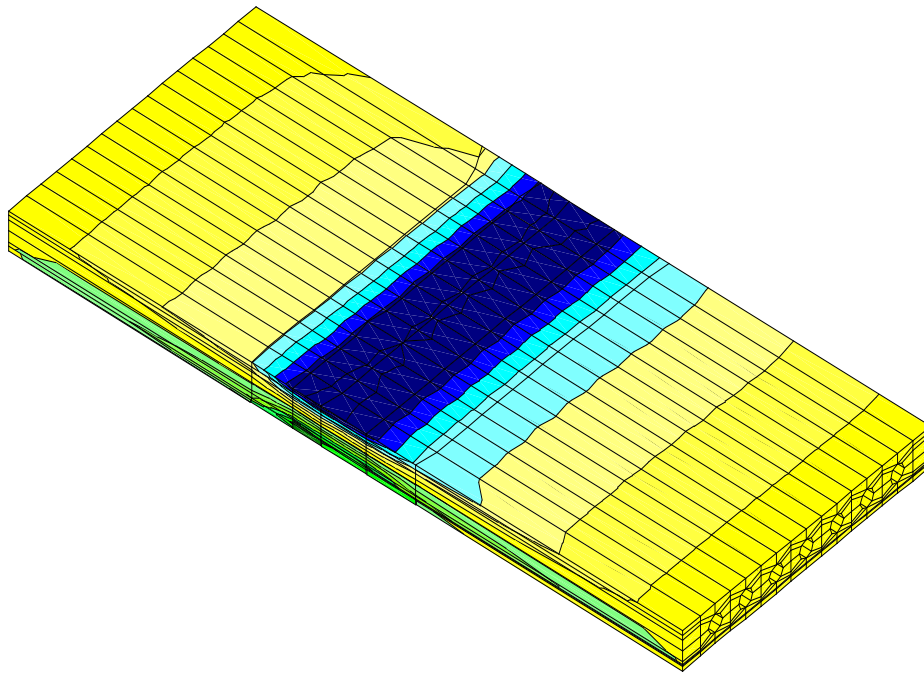


Рис. 2 – Отображение изолей напряжений верхней зоны плиты 10 Н/м²

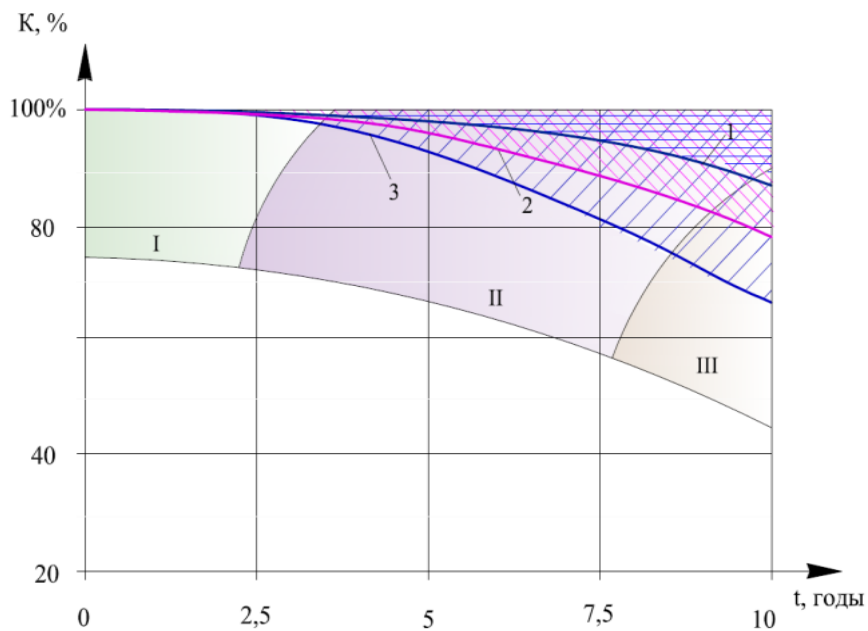


Рис. 3 – Обобщенный график остаточного ресурса несущей способности плит перекрытия:
1, 2, 3 – по соответствующим степеням повреждения 2-й; 3-й и 4-й

Остаточный ресурс по критерию прочности в общем случае определяется по результатам проведенных натуральных испытаний и расчета конструкций с использованием фактических характеристик материалов конструкций [2]. Обобщенный график остаточного ресурса несущей способности представлен на рисунке 3.

Заключение

Представленные результаты остаточного ресурса несущей способности указывает на время снижения несущей способности до 12%; 21% и 33% соответственно плит перекрытий, имеющих 2-ю; 3-ю и 4-ю степени повреждения. Выполненные исследования дают возможность оценить несущую способность и определить величину прогибов коррозионно-поврежденных плит в зависимости от глубины разрушения растянутого бетона без проведения дополнительных испытаний.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

Список литературы / References

1. Минасян А.А. Расчет поврежденных железобетонных плит перекрытий с учетом коррозии бетона и арматуры / А.А. Минасян, К.П. Пятикрестовский // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений – 2019 – №5 – С. 55–63
2. Минасян А.А. Несущая способность коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия по результатам натурных испытаний / А.А. Минасян // Строительная механика и расчет сооружений – 2018 – №6 – С. 19–25
3. Минасян А.А. Критерии прочности коррозионно поврежденного бетона при плоском напряженном состоянии / А.А. Минасян // Строительная механика и расчет сооружений – 2020 – №6 – С. 24–28
4. Колчунов В.И. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях / В.И. Колчунов, Н.В. Клюева, Н.Б. Андросова и др. – М.: АСВ, 2014 – 208 с.
5. Бондаренко В.М. Коррозионные повреждения как причина лавинного разрушения железобетонных конструкций / В.М. Бондаренко // Строительная механика и расчет сооружений – 2009 – № 5 – С. 13–17
6. Kolchunov V. Crack resistance criteria for reinforced concrete beams with corrosion damage in strength resource assessment / V. Kolchunov, N. Androsova, T. Kolchina // Applied Mechanics and Materials – 2015 – № 725–726 – pp. 740–745
7. Клюева Н.В. Критерий прочности коррозионно повреждаемого бетона при сложном напряженном состоянии / Н.В. Клюева, Н.Б. Андросова, М.С. Губанова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений – 2015 – № 1 – С. 38–42
8. Гениев Г.А. Вопросы длительной и динамической прочности анизотропных конструктивных материалов / Г.А. Гениев, К.П. Пятикрестовский – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2000 – 38 с.
9. Карпенко Н.И. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры / Н.И. Карпенко, Б.С. Соколов, О.В. Радайкин // Строительство и реконструкция – Госуниверситет УНПК, Орел. – №2 – С. 11–18
10. Карпенко С.Н. Методы деформирования железобетона в приложениях и методы расчета конструкций: автореферат на соискание ученой степени ... доктора технических наук / С.Н. Карпенко – М., 2010 – 48 с.
11. Гениев Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева и др. – М.: АСВ, 2004 – 216 с.
12. Гениев Г.А. О влиянии продолжительности действия нагрузки на прочность материала / Г.А. Гениев, А.С. Курбатов // Бетон и железобетон – Стройиздат, 1996. – № 4

Список литературы на английском языке / References in English

1. Minasyan A.A. Raschet povrezhdennyh zhelezobetonnyh plit perekrytij s uchetom korrozii betona i armatury [Calculation of damaged reinforced concrete floor slabs taking into account corrosion of concrete and reinforcement] / A.A. Minasyan, K.P. Pyatikrestovskij // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake-resistant construction. Safety of structures] – 2019 – №5 – pp. 55–63 [in Russian]
2. Minasyan A.A. Nesushchaya sposobnost' korrozionno-povrezhdennyh zhelezobetonnyh plit perekrytiya po rezul'tatam naturnyh ispytaniy [Bearing capacity of corrosion-damaged reinforced concrete floor slabs according to the results of field tests] / A.A. Minasyan // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij [Construction mechanics and calculation of structures] – 2018 – №6 – pp. 19–25 [in Russian]
3. Minasyan A.A. Kriterii prochnosti korrozionno povrezhdennogo betona pri ploskom napryazhennom sostoyanii [Criteria for the strength of corrosively damaged concrete in a flat stressed state] / A.A. Minasyan // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij [Construction mechanics and calculation of structures] – 2020 – №6 – pp. 24–28 [in Russian]
4. Kolchunov V.I. Zhivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnyh vozdejstviyah [Survivability of buildings and structures under non-design impacts] / V.I. Kolchunov, N.V. Klyueva, N.B. Androsova et al. – M.: ASV, 2014 – 208 p. [in Russian]
5. Bondarenko V.M. Korrozionnye povrezhdeniya kak prichina lavinnogo razrusheniya zhelezobetonnyh konstrukcij [Corrosion damage as a cause of avalanche destruction of reinforced concrete structures] / V.M. Bondarenko // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij [Construction mechanics and calculation of structures] – 2009 – № 5 – pp. 13–17 [in Russian]
6. Kolchunov V. Crack resistance criteria for reinforced concrete beams with corrosion damage in strength resource assessment / V. Kolchunov, N. Androsova, T. Kolchina // Applied Mechanics and Materials – 2015 – № 725–726 – pp. 740–745 [in Russian]
7. Klyueva N.V. Kriterij prochnosti korrozionno povrezhdaemogo betona pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [The criterion of strength of corrosively damaged concrete in a complex stressed state] / N.V. Klyueva, N.B. Androsova, M.S. Gubanova // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij [Construction mechanics of engineering structures and structures] – 2015 – № 1 – pp. 38–42 [in Russian]
8. Geniev G.A. Voprosy dlitel'noj i dinamicheskoj prochnosti anizotropnyh konstruktivnyh materialov [Issues of long-term and dynamic strength of anisotropic structural materials] / G.A. Geniev, K.P. Pyatikrestovskij – M.: CNIISK im. V.A. Kucherenko, 2000 – 38 p. [in Russian]

9. Karpenko N.I. K opredeleniyu deformatsiy izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov s ispol'zovaniem diagramm deformirovaniya betonai armatury [To determine Deformations of Bent Reinforced Concrete Elements using Reinforcement concrete deformation diagrams] / N.I. Karpenko, B.S. Sokolov, O.V. Radajkin // Stroitel'stvo i rekonstrukciya [Construction and reconstruction] – Gosuniversitet UNPK, Orel. – №2 – pp. 11–18 [in Russian]

10. Karpenko S.N. Metody deformatsionirovaniya zhelezobetona v prirashcheniyah i metody rascheta konstrukcij [Methods of deformation of reinforced concrete in increments and methods of calculation of structures]: abstract for the degree of ... PhD in Technical Sciences / S.N. Karpenko – M., 2010 – 48 p. [in Russian]

11. Geniev G.A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri zaproektnykh vozdej stviyah [Strength and deformability of reinforced concrete structures under non-design impacts] / G.A. Geniev, V.I. Kolchunov, N.V. Klyueva et al. – M.: ASV, 2004 – 216 p. [in Russian]

12. Geniev G.A. O vliyaniy prodolzhitel'nosti dejstviya nagruzki na prochnost' materiala [On the effect of the duration of the load on the strength of the material] / G.A. Geniev, A.S. Kurbatov // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete] – Construction Publishing House, 1996. – № 4 [in Russian]
