Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2019, №6, Том 11 / 2019, No 6, Vol 11 https://esj.today/issue-6-2019.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/46SAVN619.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:
Варламов А.А., Пермяков М.Б., Давыдова А.М., Ильин А.Н. Экспериментальный способ оценки деградации железобетонной конструкции // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, https://esj.today/PDF/46SAVN619.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:
Varlamov A.A., Permyakov M.B., Davydova A.M., Ilin A.N. (2019). The experimental method of estimating the degradation of reinforced concrete structures. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(11). Available at: https://esj.today/PDF/46SAVN619.pdf (in Russian)

Фонд содействия инновациям, грант «УМНИК»

УДК 69.059.4:620.172.226

ГРНТИ 67.11.31

Варламов Андрей Аркадьевич
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
Профессор кафедры «Проектирование зданий и строительных конструкций»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: mgrp@mgn.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=716813

Пермяков Михаил Борисович
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
Заведующий кафедрой «Строительное производство»
Доктор PhD, кандидат технических наук, доцент
E-mail: permyakov.1965@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=535560

Давыдова Анастасия Михайловна
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
Аспирант кафедры «Проектирование зданий и строительных конструкций»
E-mail: nastya2008p@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=812716

Ильин Александр Николаевич
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия
Доцент кафедры «Строительное производство»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: sasa-ilin@yandex.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=701542

Экспериментальный способ оценки деградации железобетонной конструкции

Аннотация. Состояние строительных конструкций определяет длительность эксплуатационного периода жизненного цикла зданий и сооружений. Каждый строительный объект после окончания строительства подвергается деградации до момента окончания эксплуатации. Долговечность все больше является востребованной при оценке характеристики конструкции. Ученые постоянно находятся в поисках продления срока службы зданий и сооружений. Решение проблемы нахождения критериев, которые помогут выявлять

недопустимые риски при эксплуатации строительных конструкций, актуально в научном сообществе, изучающем вопросы долговечности. Разработка другой количественной оценки состояния строительных конструкций, за пределами которой дальнейшая эксплуатация здания или сооружения опасна, приближает исследователей к границе совпадения мыслимого с действительностью.

В данном исследовании для оценки долговечности железобетонной конструкции использовали новый способ определения параметров трещиностойкости бетона, заключающийся в образовании с помощью алмазного диска «трапециидального» сегмента с последующим его отломом. Данный способ позволяет определять критический коэффициент интенсивности напряжений (ККИН) бетонов на плоских поверхностях эксплуатируемых элементов железобетонных конструкций при статическом нагружении. Полученные данные с испытаний показывают, что применяемые в работе способы определения характеристик трещиностойкости бетона могут быть применены наравне с действующими.

В статье приведены основные характеристики используемых способов и методик, дана их качественная оценка. Проведено сравнение стандартного и применяемых способов. Использование нового способа позволило применить для оценки долговечности теорию деградации. Определение долговечности бетона предлагается вести с использованием разработанных методов определения характеристик бетона.

Ключевые слова: деградация; долговечность; энергетические характеристики; способ; методика; эксплуатируемая конструкция

Введение

Долговечность в настоящее время является одной из важнейших характеристик конструкции [1]. На основании данных по оценке технического состояния объекта и остаточного ресурса принимается обоснованное решение о возможности дальнейшей эксплуатации объекта в соответствии с остаточным или назначенным ресурсом, или его ремонте, снижении рабочих параметров, использованию по иному назначению или выводу из эксплуатации [2].

Основой для расчета долговечности конструкции принята зависимость, которая оценивает продолжительность безопасной эксплуатации конструкции в сутках, предложенную В.Ю. Зайцевым [3; 4]:

$$\lg(t) = K_{Ic}(t)\cdot\lg(28)\cdot\sqrt{1+2E_b\cdot C(\infty,28)\cdot(1-e^{-\gamma(t-28)})}\,/\,K_{Ic}(\tau), \qquad (1)$$

где $K_{Ic}(t)$ – критический коэффициент интенсивности напряжений (ККИН) бетона текущего возраста;

$K_{Ic}(\tau)$ – ККИН бетона в момент загружения;

$C(\infty,28)$ – величина ползучести в возрасте 28 суток;

γ – коэффициент, характеризующий скорость нарастания деформаций.

$$K_{Ic}(t) = \frac{R_{bt}(t)}{R_{bt}(\tau)}\cdot\frac{K_{Ic}(\tau)}{\sqrt{E_b(t)/E_b(\tau)+2E_b(t)\cdot C^b(t,\tau)}}. \qquad (2)$$

Как видно, предложенная зависимость имеет в своем основании энергетические характеристики бетона K_{IC}, E_b, C_b. Известные методы определения характеристик

трещиностойкости бетона, в существующих конструкциях предполагают извлечение опытного образца с последующим испытанием его в лабораторных условиях [5], что в большинстве конструкций затратно или не представляется возможным.

С другой стороны, опытные данные о сопротивлении бетона распространению трещин относятся в основном к опытным лабораторным образцам [6; 7] и сопоставление полученных результатов с натурными конструкциями в большинстве случаев затруднено.

Методы исследования

В предлагаемой работе разработана методика определения энергетических параметров трещиностойкости бетона эксплуатируемых конструкций при статическом нагружении.

Для повышения точности и надежности получаемых характеристик был разработан способ и устройство для получения таких характеристик как на лабораторных образцах, так и на существующих конструкциях [8]. Способ заключается в образовании зоны концентрации напряжений в эксплуатируемой конструкции с последующим отломом этого концентратора. Угловой сегмент образуется путем создания продольных и поперечных пропилов (рисунок 1).

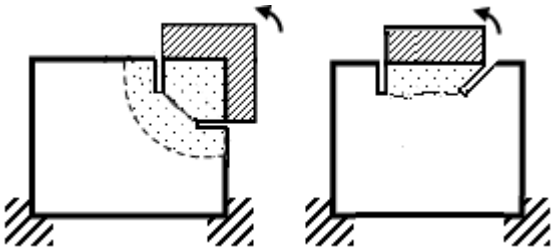


Рисунок 1. *Схемы определения характеристик трещиностойкости в эксплуатируемой конструкции*

За эталонные параметры углового сегмента были приняты: глубина продольных пропилов 10 мм; расстояние между поперечными пропилами 50 мм; расстояние от продольного пропила до ребра образца по обеим граням 45 мм. Размеры подбирали исходя из наибольшего приближения сечения отлома к сечению отлома стандартного образца. Для проведения испытаний использовали половинки образцов, испытанных на трехточечный изгиб обычным способом [9; 10]. Испытания проводили с фиксацией разрушающей нагрузки с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм, закрепленного на рычаге. После отлома фиксировали площадь поверхности образовавшегося углового сегмента.

По результатам испытаний выведена регрессионная формула (3) с обеспеченностью 95 %, для определения ККИН:

$$K_{Ic} = 0{,}666 + 0{,}00183M - 5{,}206b - 4{,}415l \text{ , МПа·м } 0{,}5, \quad (3)$$

где M – момент (Н·м);

b – расстояние между поперечными пропилами (м);

l – расстояние между кончиками продольных пропилов (м).

Отметим два недостатка метода:

- применим только к угловым сегментам изделий;
- один образец дает только одно экспериментальное значение ККИН, соответствующее началу спонтанного роста трещины.

От этих недостатков избавлен способ, схемы и пояснения к которым показаны на рисунке 2.

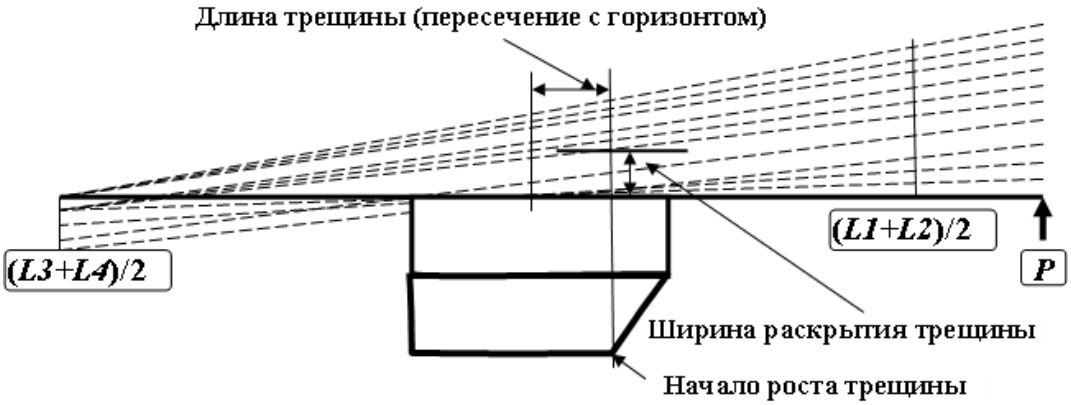
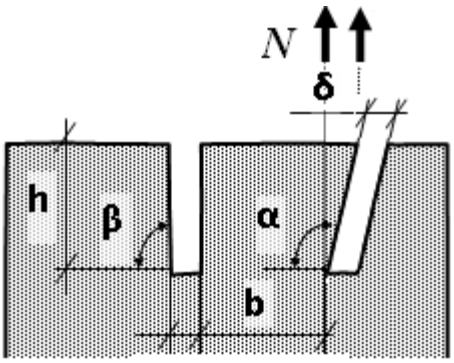


Рисунок 2. *Схема определения перемещений, длины и ширины трещины*

Предложенные способы используют метод релаксации. На одном образце можно провести несколько циклов нагружения и разгрузки. Изучение влияния формы отламываемого сегмента на напряженно-деформированное состояние зоны отлома проводили на конечно-элементной модели. Образцы представляли бетонные призмы сечением 150×150 мм и шириной 100 мм. В нижней зоне призму закрепляли. В верхней зоне на всю толщину делали пропилы шириной 1…7 мм, разной глубины и под разными углами. К свободной части пропила приклеивали брусок из металла. К бруску прикладывали единичную силу. Призмы разбивали на конечные элементы. В кончике пропила размеры конечных элементов составляли 0,2 мм. На рисунке 3 показаны схемы изученных пропилов.



h *= 240, 270, 300, 330;* ***δ*** *= 30, 50, 200;* ***b*** *= 210, 240, 300, 360. 420;* ***β*** *= 90 ^{0}, 45 ^{0};*

α *= 90 ^{0}, 95 ^{0}, 105 ^{0}, 120 ^{0}, 135 ^{0}, 165 ^{0}.* ***N*** *– по нижней грани, по верхней грани пропила*

Рисунок 3. *Схемы пропилов*

Влияние угла отлома показано на рисунке 4. Видно, что угол наклона начальной трещины желательно выполнять не менее 45^0. Увеличение угла пропила свыше 45 градусов возможно, но связано с техническими проблемами выполнения пропила. Увеличение ширины пропила благоприятно сказывается на увеличении напряжений и контролируемых деформаций. Изменение наклона свободного угла практически не влияло на величину напряжений в кончике трещины.

Точка приложения силы незначительно влияла на величину напряжений в кончике трещины. Рекомендуется призма с широкими пропилами и углом наклона со стороны отлома не менее 45^0 и прямым углом с незагруженной стороны.

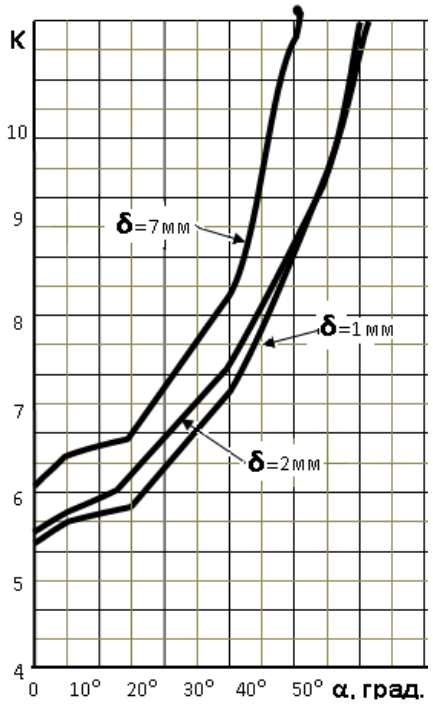


Рисунок 4. *Влияние угла наклона на напряжения в угловом сегменте*

Изучение влияния неоднородности в теле бетона на распределение напряжений и деформаций в этой зоне показало, что наибольшее влияние неоднородности наблюдается при расположении зоны ровно по центру кончика трещины. Практически сразу после выхода неоднородности из зоны кончика трещины ее влияние резко ослабевает. Вывод: следует анализировать зону разлома после выполнения опыта.

Изучение влияния размера трапециевидной зоны на распределение деформаций и напряжений позволили сделать вывод, что наиболее рациональная высота трапециевидного элемента составляет не менее 0,8 от его ширины.

Изучение зоны прямого соприкосновения металлического элемента с бетоном (рисунок 5) указывает на возможность определения ККИН непосредственным отломом металлического элемента без образования трапециевидной зоны. При условии, что прочность клеевого соединения будет выше прочности бетона.

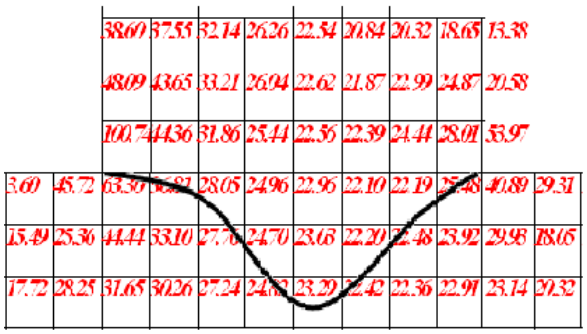


Рисунок 5. *Распределение напряжений в зоне соприкосновения элементов*

Со временем изменяются все характеристики бетона, входящие в зависимость (3). При извлечении образца старого бетона из конструкции необходимо учитывать его дефектность, в том числе полученную от напряжений и коррозии. Соотношение прочности и модуля упругости старого бетона должна отличаться от такого соотношения для бетона стандартного возраста.

Это необходимо учитывать и при определении деформаций старого бетона и при определении в нем напряжений.

Различными исследователями отмечалось уменьшение модуля упругости бетона при его циклическом нагружении [11–13]. В стандартных диаграммах деформирования бетона и в теориях его расчета этот факт не учитывают. Ранее нами было теоретически обосновано, что модуль упругости бетона должен уменьшаться по мере увеличения в нем дефектов [14; 15].

Для проверки характера изменения модуля упругих деформаций изготовили три серии бетонных образцов, отличающихся разной фракцией крупного заполнителя. Каждая серия состояла из образцов призм сечением 15×15, 10×10, 5×5 см и кубов сечением 10×10 см.

Для изготовления образцов использовали стандартные стальные формы и методику формования. Все серии бетонных образцов изготавливали из цемента одной марки М400. Каждая серия отличалась от другой только размером фракции крупного заполнителя (5–10 мм, 10–12 мм, 12–20 мм).

Анализ полученных графиков деформирования позволил сделать следующие выводы:

1. На первых ступенях нагружения до нагрузки 0,4–0,5 изменения модуля незначительны и, если перед началом загружения центрировать образец – загружая и разгружая его, то изменение модуля упругости не заметно.
2. Модуль упругости уменьшается с уровнем напряжения и с увеличением времени выдержки.
3. Обнаруженное увеличение на некоторых образцах или на некоторых этапах загружения модуля упругости было связанно с внецентренным загружением образцов. При выравнивании продольных деформаций по граням эффект уменьшения модуля упругости возвращался.
4. В образцах с малыми размерами – 5×5×20 см деформации полностью выровнять не удалось. Связано это не только с внешними условиями, но и с неоднородностью бетона. Для образцов малых размеров необходимо использовать специальные приспособления.
5. В растворных призмах изменение модуля было незначительным, что, вероятно, связано с их малыми пластическими деформациями.

Дефектность материала характеризуют и пластические и упругие деформации. Диаграмму поведения бетона предлагается строить ступенчато:

1. Задается уровень нагружения с использованием начального модуля.
2. Определяется величина пластических деформаций бетона в соответствии с заданным уровнем упругих деформаций.
3. В соответствии с величиной пластических деформаций уточняется величина модуля упругости и определяется следующая ступень нагружения. Изменения упругих деформаций можно определить на первом этапе в соответствии с формулой И.А. Матарова [13]:

$$log\ \varepsilon_y = a + blog\ N, \quad (4)$$

где εy – величина упругих деформаций;

a и b – опытные коэффициенты;

N – уровень нагружения.

46SAVN619
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Для сравнительных испытаний были изготовлены бетонные образцы. Исходными материалами для изготовления образцов служили: в качестве вяжущего – портландцемент марки М400, в качестве мелкого заполнителя кварцевый песок фракции 0–5 мм ($М_к$ = 2,9), в качестве крупного заполнителя порфиритовый щебень фракции 5–20, Магнитогорского гранитного карьера. Изготовлены бетонные призмы с размерами 100×100×400 мм. Инициирующие трещины образовали путем пропила диском по бетону. Размеры инициирующих трещин были приняты с учетом рекомендаций стандартных методик [5]: верхняя 5 мм, нижняя 35 мм и 40 мм.

Для определения ККИН в оставшихся половинках призм, испытанных на трехточечный изгиб, были сделаны продольные и поперечные пропилы алмазным диском. Глубина продольных пропилов составляла 10 мм. Расстояние от грани образца до продольного пропила составляло h = 25 мм. Одна половина призмы испытывалась с отломом угловых зон, вторая с отломом трапеции на поверхности (способ 1). На рисунке 6 показаны характерные графики перемещений от нагрузки. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

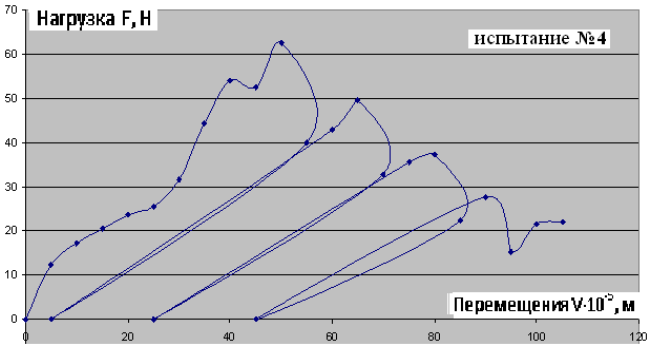


Рисунок 6. *Полностью равновесная диаграмма*

Таблица 1

Результаты испытаний

Результаты испытаний стандартных образцов										
Испытание	Wm, Н·м	We, Н·м	Wl, Н·м	Wui, Н·м	Wce, Н·м	Gi, Н/м	Gf, Н/м	Gce, Н/м	Ji, Н/м	K_{Ic}, МН/м$^{3/2}$
5–35	0,09	0,37	0,80	0,32	0,04	76,32	195,44	6,52	22,57	0,54
5–40	0,10	0,24	0,64	0,18	0,04	55,11	145,50	7,48	25,29	0,57
Результат испытаний углового сегмента										0,56
Результаты испытаний отлома трапеции										
1	0,06	0,16	0,76	0,12	0,06	46,68	121,67	7,10	16,87	0,57
2	0,10	0,35	0,80	0,21	0,04	70,98	193,58	7,00	36,73	0,56
3	0,12	0,43	0,74	0,28	0,03	77,75	166,72	6,96	37,33	0,55
4	0,10	0,23	0,62	0,20	0,04	43,19	134,51	7,20	16,98	0,59
5	0,08	0,18	0,67	0,13	0,03	38,95	142,54	6,86	23,96	0,55
6	0,13	0,21	0,57	0,17	0,04	57,27	147,06	7,40	22,83	0,55
Среднее	0,10	0,26	0,69	0,19	0,4	55,80	151.01	7,08	258	0,56

Выводы

Данные таблицы показывают, что применяемые методы определения характеристик трещиностойкости бетона могут быть применены.

В конечном итоге разработан новый метод, который позволяет определять ККИН бетонов на плоских поверхностях эксплуатирующихся элементов железобетонных

конструкций при статическом нагружении, заключающийся в образовании с помощью алмазного диска «трапециидального» сегмента с последующим его отломом.

Определение долговечности бетона предлагается вести с использованием разработанных методов определения характеристик бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка сроков ремонта и долговечности зданий и конструкций Варламов А.А. Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2016. № 1. С. 153–158.
2. Пермяков М.Б. Расчет и оценка остаточного ресурса зданий. // Современные строительные технологии, конструкции и материалы: Сб. науч. тр. / Под ред. М.Б. Пермякова. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2011. – С. 17–22.
3. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. – М.: Стройиздат, 1982. – 196 с.
4. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с. 1, 2.
5. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом загружении. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 18 с.
6. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Механика разрушения железобетона. – М.: Новый век, 1998. – 190 с.
7. Гузеев Е.А., Леонович С.Н., Милованов А.Ф., Пирадов К.А., Сейланов Л.А. Разрушение бетона и его долговечность. – Мн.: Редакция журнала «Тыдзень», 1997. – 170 с.
8. Круциляк Ю.М., Круциляк М.М., Варламов А.А. Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения в изделии Патент РФ №2324916 на изобретение // Б.юл. ИПМ. №14, 2008.
9. Круциляк Ю.М. Круциляк М.М. Варламов А.А. Определение силовых и энергетических характеристик трещиностойкости бетона // Бетон и железобетон в Украине, 2006, №.3. – с. 18–20.
10. Круциляк Ю.М. Круциляк М.М. Варламов А.А. Способ определения характеристик трещиностойкости бетона Бетон и железобетон. 2008, №1, С. 20.
11. К.З. Галустов К вопросу об упруго-мгновенных деформациях в теории ползучести бетона. Бетон и железобетон. №5, 2008. с. 11–15.
12. Карапетян К.С. Об одном существенном факторе в прочности и деформативных свойствах бетона. ДАН Арм. ССР, 1957, т. 24, № 4.
13. Матаров И.А. Прочность и деформации бетона при повторных нагрузках Дис. докт. техн. наук. М., ВНИИтрансп. 1960. 204–275 с.
14. А.А. Варламов, Н.А. Варламова. О упругом поведении бетона // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегион. науч.-техн. конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – Т.2. – С. 192–195.
15. Варламов А.А. Модели поведения бетона. Общая теория деградации / А.А. Варламов, В.И. Римшин. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 436 с.

Varlamov Andrey Arkadevich
Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia
E-mail: mgrp@mgn.ru

Permyakov Mikhail Borisovich
Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia
E-mail: permyakov.1965@mail.ru

Davydova Anastasia Mikhailovna
Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia
E-mail: nastya2008p@mail.ru

Ilin Alexander Nikolaevich
Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia
E-mail: sasa-ilin@yandex.ru

The experimental method of estimating the degradation of reinforced concrete structures

Abstract. The state of building structures determines the duration of the operational period of the life cycle buildings and structures. Each building object after construction is subject to degradation until the end of operation. Durability is increasingly in demand when evaluating structural performance. Scientists are constantly in search of extending the life of buildings and structures. The solution to the problem of finding criteria that will help identify unacceptable risks in the operation of building structures is relevant in the scientific community studying the issues of longevity. The development of another quantitative assessment of the state of building structures, beyond which further operation of a building or structure is dangerous, brings researchers closer to the border of coincidence of the imaginable with reality.

In this study, to assess the durability of a reinforced concrete structure, we used a new method for determining the crack resistance parameters of concrete, which consists in the formation of a "trapezoidal" segment with the help of a diamond disk and its subsequent breaking. This method allows you to determine the critical stress intensity factor (KKIN) of concrete on the flat surfaces of the operated elements of reinforced concrete structures under static loading. The data obtained from the tests show that the methods used in the work for determining the fracture toughness characteristics of concrete can be applied on a par with the existing ones.

The article describes the main characteristics of the used methods and techniques, their qualitative assessment is given. A comparison of the standard and applied methods. The use of the new method made it possible to apply the theory of degradation to assess longevity. It is proposed to determine the durability of concrete using the developed methods for determining the characteristics of concrete.

Keywords: degradation; durability; energy characteristics; method; technique; exploit construction