



УДК 624.01.4

**METHODS ESTIMATION LIFE EXPECTANCY CONCRETE
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ БЕТОНА****Varlamov A.A./ Варламов А.А.***c.t.s., prof. / к.т.н., проф.***Davydova A.M./ Давыдова А.М.***graduate student / аспирант**Nosov Magnitogorsk State Technical University.**Magnitogorsk, Lenina 38,455000**Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова,**Магнитогорск. пр. Ленина 38, 455000*

Аннотация. В статье рассмотрены основные подходы к оценке долговечности бетона и железобетона с точки зрения механики разрушения бетона. Представлены основные причины, влияющие на долговечность бетона. Приведены основные зависимости. В результате анализа имеющихся зависимостей выявлено, что для их использования необходимо определение множества прочностных и деформативных характеристик бетона, прочностных и энергетических параметров трещиностойкости. На основе анализа имеющихся подходов к оценке долговечности сделан вывод, что в настоящее время не разработаны способы и оборудование, которые позволяют эффективно осуществлять имеющиеся теоретические методы оценки долговечности бетона. Необходимо разрабатывать более простые методы получения характеристик бетона на действующих объектах и упрощать методику оценки долговечности конструкций.

Ключевые слова: характеристики, долговечность, прочность, механика разрушения, метод.

Вступление.

С понятием продолжительности жизни напрямую связано прогнозирование разрушения конструкции, для этого необходимо рассмотреть следующие задачи:

– оценить на стадии создания проекта долговечность применяемых материалов бетона и арматуры при заданных условиях эксплуатации или подобрать материалы с определенными свойствами из условия заданного срока эксплуатации конструкции [1];

– определить момент времени разрушения строительной конструкции, то есть ее ресурс (в оценке циклов) или долговечность (в оценке времени), по фактическим характеристикам материалов и параметрам трещин, либо определить вероятность разрушения во временном интервале при отсутствии информации о предыстории нагружения [2.3].

Появление в 1992 г. ГОСТ 291667-91 [4], который учитывает структуру материала строительной конструкции и предлагает расчет характеристик трещиностойкости, является важным шагом на пути развития методов расчета конструкций из бетона и железобетона для определения заданного или остаточного срока эксплуатации. В данной статье рассматриваются существующие методики и критерии определения ресурса бетонных и железобетонных конструктивных элементов.

Основной текст.

Показатели долговечности работы железобетонного элемента можно



получить из уравнений механики разрушения, задавшись критическими значениями $\Delta I(t, \tau)$ и $a_{cr}(t, \tau)$. При этом возможно оценить параметр - время (t_{cr}), за которое характеристики трещин становятся критическими. Близкое решение можно получить и для циклического действия нагрузки.

Точный прогноз срока службы строительных конструкций напрямую связан с количественным анализом процесса разрушения, учитывающего вклад нескольких факторов: технологических, конструктивных и эксплуатационных. Определены несколько основных принципов, устанавливающих механизмы разрушения бетонных и железобетонных элементов [5]:

1. Все дефекты структуры конструкционного бетона – пустоты, раковины, капилляры и другие несовершенства, рассматриваются как трещины, имеющие, как минимум, одну вершину.

2. Изменение физико-механических постоянных бетона и арматуры во время эксплуатации является основной причиной разрушения: силовые факторы не всегда определяющие. Считается, что преимущественно более объективными является временной критерий и временная зависимость истощения энергетического ресурса структур бетона и арматуры. Несущая способность любой конструкции должна быть ограниченной во времени величиной, также зависящая напрямую от времени безопасной эксплуатации [6]. В это время в конструкции непрерывно проходят процессы, ведущие к нарушению сплошности конструкции, развиваются микротрещины. Появляется возможность определить время до наступления разрушения конструкции. Если рассматривать критерии прочности конструкции непосредственно во время ее эксплуатации под действием нагрузок – учитывается только исходное и разрушенное состояние. Для установления целостной картины разрушения элемента этого недостаточно, т.к. развитие трещины происходит во времени и при нагрузке, меньше максимальной.

3. Нарастание прочности бетона в результате гидратации цемента второстепенно, что доказано на практике. В начале твердения бетона его трещиностойкость растет, но в определенный момент, в вершинах трещин, в изъянах структуры бетона от силовых воздействий интенсивность напряжений доходит до критических значений. Тогда параметры трещиностойкости постепенно снижаются.

4. Напряженно-деформированное состояние каждой отдельной конструкции зависит от: размеров и количества дефектов и повреждений в структуре; температурно-влажностных условий; силовых воздействий и деформаций; коррозии материала в элементе конструкции.

5. Расчет несущей способности и долговечности железобетона основан на прогнозировании накопления, раскрытия, глубины и длины температурных, коррозионных и силовых трещин в структурах бетона и арматуры [5].

При определении срока службы бетонов большое влияние оказывают всевозможные факторы, начиная от состава бетона, заканчивая сроками и условиями твердения. Выбор метода количественной оценки происходит следующим образом.

Рассмотрим одну из формул, определяющих долговечность конструкции,



которая записана В.И. Шевченко в следующем виде:

$$\tau = 2 \cdot [A(n-2)\sigma^2\gamma^2(N/A_0)^{(n-2)/n_0}]^{-1}, \quad (1)$$

где: n , n_0 , A , A_0 – физические константы бетона; σ – приложенное напряжение; γ – функция, которая определяется в зависимости от формы и размера трещины, учитывающая размер испытываемого образца и схему испытания.

Как видно из предлагаемой зависимости время до момента разрушения конструкции определяется в большой степени физическими постоянными материала и внешними напряжениями.

Можно отметить, что существующие методы получения физических констант бетона (например акустические методы, а также механические методы механики разрушения) дают возможность оценить развитие дефектов в бетоне, однако требуют значительных затрат времени и средств на оборудование, испытательные машины, дорогостоящей аппаратуры типа датчиков слежения за развитием трещин. Также при использовании акустической аппаратуры необходимо устранить влияния внешних факторов, помех.

Рассмотрим способ определения характеристик трещиностойкости конструкций из бетона и железобетона, заключающийся в испытании образцов. При этом скорость нагружения элементов может быть различной. Значения критического коэффициента интенсивности напряжений (ККИН) и n (при больших скоростях нагружения), которые получаются в результате проведения эксперимента тождественны тем, которые определяются методами механики разрушения [5].

$$\tau = 2\sigma_c^{n-2} \cdot (n-2)^{-1} \cdot A^{-1} \cdot \gamma^{-2} \cdot \sigma^{-n} \cdot K_I^{2-n} \cdot C^{2-n}, \quad (2)$$

где σ_c – разрушающее напряжение, полученное при испытании при отсутствии в подрастания трещин; C – постоянная.

В результате проведения многочисленных испытаний В.И. Шевченко [5] определил значения n , учитывая зависимости состава и вида бетонов. В результате была получена корреляционная зависимость между коэффициентом динамического упрочнения $K_{d,y}$ (отношение максимальной прочности R_{btf} , определяемой при высоких скоростях, к прочности полученной при стандартной скорости нагружения) и показателем трещиностойкости n .

На основе уже полученных параметров трещиностойкости был использован другой метод решения задачи долговечности бетона. В основе метода С.А. Томрачева [7] положена гипотеза о структурно капиллярно - поровых дефектах. Эти дефекты автор считает микротрещинами с вершинами, в которых создаются предельные напряжения в результате изменяющихся внешних воздействий.

$$\tau = 2(K_I^{cr} - K_I^N) \cdot [K_{I,W}^{TW} - K_{I,S}^{TW}]^{-1}, \quad (3)$$

где K_I^N – КИН при приложении силовой нагрузки, $K_{I,W}^{TW}$ – КИН, учитывающий воздействие температуры и влажности в зимний период года, $K_{I,S}^{TW}$ – КИН, учитывающий воздействие температуры и влажности в летний период.

В моделях С.А.Томрачева используются инвариантные энергетические



характеристики G_i и K_{Ic} , а сам метод разработан применительно к классической теории старения бетона.

Энергия разрушения в процессе развития трещин подчиняется закону

$$D(t) = K_{Ic}^2(\tau) \cdot E_b(t)^{-1}, \quad (4)$$

где K_{Ic} - ККИН релаксирует во времени [8]:

$$K_{Ic} = \frac{R_{bt}(t)}{R_{bt}(\tau)} \cdot K_{Ic}(\tau) \cdot [E_b(t)/E_b(\tau) + 2E_b(t) \cdot C^b(t, \tau)]^{-1/2}. \quad (5)$$

Из последней зависимости получается продолжительность безопасной эксплуатации в сутках:

$$\log t = K_{Ic}(t) \cdot \log \tau \cdot K_{Ic}^{-1}(\tau) \cdot [1 + E_b \cdot C(\infty, 28) \cdot (1 - e^{-\gamma(t-28)})]^{1/2}. \quad (6)$$

При длительном нагружении скорость роста трещины в конструкции можно выразить в виде

$$v_{crc} = \frac{dl_{crc}(t)}{dt} = K_{Ic}^2(t) \frac{\pi \gamma \cdot C(\infty, \tau) \cdot E_b(t) \cdot E_b(\tau) \cdot (1 - v^2)}{24 R_{bt}^2(t) \cdot [2E_b(\tau) - E_b(t) \cdot (1 - v^2)]}. \quad (7)$$

Учитывая (5) ширина раскрытия трещины в бетонном элементе в каждый момент времени определяется как

$$a'_{crc}(t, \tau) = a_{crc}^0(\tau) \cdot [1 + E_b(\tau) \cdot C(t, \tau)], \quad (8)$$

аналогично для железобетонного элементов:

$$a^r_{crc}(t, \tau) = a_{crc}^{r0}(\tau) \cdot [1 + E_b(\tau) \cdot C^r(t, \tau)], \quad (9)$$

где $a_{crc}^0(\tau)$ и $a_{crc}^{r0}(\tau)$ - начальные значения ширины раскрывающейся трещины для бетонной и железобетонной конструкции.

В процессе нагружения циклической нагрузкой при испытании бетонного образца увеличение длины трещины предлагается считать следующим образом [8]:

$$\frac{\Delta l_{crc}}{\Delta N} = -\beta \cdot \left(\frac{K_{Im,ax}^2 - K_{Im,in}^2}{K_c^2} + \ln \frac{K_c^2 - K_{Im,ax}^2}{K_c^2 - K_{Im,in}^2} \right), \quad (10)$$

На основе полученной Ю.В. Зайцевым [8] модели развития трещин, К.А. Пирадовым и С.Н. Леоновичем [5] были предложены следующие алгоритмы:

- для подбора состава по заданным параметрам внешних негативных воздействий и свойствам компонентов конструкционного бетона его технологическим характеристикам и параметрам защиты от коррозии;
- для установления остаточного ресурса бетона в конструкции при заданных составах, и по образцам, полученным путем вырубки элементов из эксплуатируемых конструкций.

Заключение и выводы.

Для оценки долговечности конструкции необходимо адаптировать разработанные модели к конкретной конструкции и условиям её эксплуатации. Для оценки долговечности бетонных и железобетонных конструкций необходимы простые способы и устройства для получения энергетических и силовых характеристик бетона на эксплуатируемых конструкциях. В настоящее



время такого оборудования и методик не существует. Необходим единый общезначимый подход к оценке долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

Литература:

1. Круциляк М.М. Метод определения критического коэффициента интенсивности напряжения бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций: дис. ... канд. наук: 05.23.01. - Магнитогорск, 2010. - 140 с.
2. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. Security and destruction of technical systems // IFAC-PapersOnLine, 2018. Vol.51, N30- pp. 808-811. <https://doi.org/10.1016/j.facol.2018.11.190>
3. Пермяков М.Б. Расчет и оценка остаточного ресурса зданий // Архитектура. Строительство. Образование. - 2014. - №2(4). - С. 66-72.
4. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости при статическом нагружении. М.: Изд. стандартов, 1995 .
5. Леонович С.Н., Пирадов К.А. Длина и ширина раскрытия трещины в бетонном элементе при циклическом нагружении // Наука и техника. - 2010. - №5. - С. 30.
6. Круциляк М.М., Круциляк Ю.М, Варламов А.А. Определение силовых и энергетических характеристик трещиностойкости бетона // Бетон и железобетон в Украине. - 2006. - №3. - С. 18-20.
7. Томрачев С.А. Метод компьютерного моделирования капиллярной поровой структуры тяжелого бетона: дис. ... канд техн. наук: 05.23.05. - Томск, 2005. - С. 145.
8. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. - М.: Высшая школа, 1991. - 288 с.

References:

1. Krutsilyak M.M. (2010). Metod opredeleniya kriticheskogo koeffitsiyenta intensivnosti napryazheniya betona ekspluatiruyemykh zhelezobetonnykh konstruksiy [Method for the determination of critical stress intensity factor of concrete operated concrete structures]: dis. ... kand. Nauk [Diss. kand. Sciences], Magnitogorsk, 140 P.
2. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. (2018)/ Security and destruction of technical systems in IFAC-Papers On Line. Vol.51. N30- pp. 808-811. <https://doi.org/10.1016/j.facol.2018.11.190>
3. Permyakov M.B. (2014). Raschet i otsenka ostatochnogo resursa zdaniy [Calculation and estimation of residual resource of buildings] in Arkhitektura. Stroitelstvo. Obrazovaniye. [Architecture. Construction. Education] ,№2(4), pp. 66-72.
4. GOST 29167-91 (1995). Betony. Metody opredeleniya kharakteristik treshchinostoykosti pri staticheskom nagruzhenii [Concretes. Methods for determination of fracture toughness characteristics] Moscow, Izd. Standartov [Publ. Standards].
5. Leonovich S.N., Piradov K.A. (2010). Dlina i shirina raskrytiya treshchiny v betonnom elemente pri tsiklicheskom nagruzhenii [The Length and width of the crack opening in the concrete element under cyclic loading] in Nauka i tekhnika [Science and technology], №5, pp. 30.
6. Krutsilyak M.M., Krutsilyak Yu.M, Varlamov A.A.(2006). Opredeleniye silovykh i energeticheskikh kharakteristik treshchinostoykosti betona [The Determination of power and energy characteristics of fracture toughness of concrete] in Beton i zhelezobeton v Ukraine [Concrete and reinforced Concrete in Ukraine], №3, pp. 18-20.



7. Tomrachev S.A. (2005). Metod kompyuternogo modelirovaniya kapillyarnoy porovoy struktury tyazhelogo betona [The Method of computer modeling of the capillary pore structure of heavy concrete] dis. kand. tekhn. Nauk [Diss. candidate tehn. Sciences], Tomsk, 145 P.

8. Zaytsev Yu.V. (1991). Mekhanika razrusheniya dlya stroiteley [Fracture Mechanics for builders] in Vysshaya shkol [High school], Moscow, 288 P

Abstract. *The article describes the main approaches to the assessment of durability of concrete and reinforced concrete from the point of view of fracture mechanics. Presents the main factors influencing the durability of concrete. Presents the basic dependence. The analysis of existing dependencies has shown that their use requires the identification of a number of strength and deformation characteristics of concrete, and additionally energy parameters of fracture toughness. Based on the analysis of existing approaches to evaluating durability we came to the conclusion that is not currently developed methods and equipment that ensure the effective application of the available theoretical methods for assessing the durability of concrete. It is necessary to develop more simple methods to obtain the characteristics of concrete on existing objects. It is necessary to simplify the methods of assessing the durability of structures.*

Key words: characterization, durability, strength, mechanics fracture, methods.

Рецензент: д.т.н., проф. Матвеев В.Г.

Статья отправлена: 20.12.2018 г.

© Варламов А.А.