

обработке бетонной смеси — температура изотермического прогрева, скорость, с которой эта температура достигается, а затем снижается до температуры среды, в которой происходит распалубка, время проведения каждого этапа тепловой обработки. Отдельные критерии подлежат уточнению.

Автор не ставит перед собой цель дать исчерпывающие рекомендации по назначению составов бетонной смеси, регламента ее приготовления, транспортирования, укладки, уплотнения, твердения. Для этого существует достаточное количество нормативной, справочной, другой научно — технической литературы. Ставится цель предложить методики, алгоритмы, устройства, которые позволяют воплотить в жизнь эти предписанные или рекомендуемые составы и регламенты с достаточно высокой степенью надежности, т.е. как реально реализовать их в строительной практике.

Настало время сделать ревизию нормативных документов с целью оценки их реальной достижимости (возможности выполнить заложенные в нормах показатели) и провести сертификацию (а не аттестацию) производства на его соответствие требованиям нормативных документов. На каком-то этапе возможна предварительная (условная) сертификация, под конкретные мероприятия и на непродолжительный срок. Вопрос требует обсуждения.

УДК 624.012

Полейко Н.Л., Ковшар С.Н., Осос Р.Ф., Полейко Д.Н.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Использование железобетона частично основано на том, что бетон является средой, предохраняющей стальную арматуру от химической коррозии. Способность пассивации стали в бетоне на основе портландцементного клинкера определяется его щелочностью. Бетон также является физическим барьером против веществ, которые способствуют развитию коррозии стальной арматуры.

При эксплуатации железобетонных конструкций потеря пассивности стали может наступить:

- в результате карбонизации защитного слоя бетона (снижение pH);
- в результате диффузии через защитный слой бетона к поверхности стальной арматуры агрессивных ионов;
- в результате разрушения защитного слоя.

Прогнозирование долговечности железобетонной конструкции можно вести двумя способами. Первый способ основан на том, что срок службы конструкции определяется моментом депассивации арматуры, т.е.:

$$t_L = t_0, \quad (1)$$

где t_L — долговечность, t_0 — время возникновения коррозии

Второй способ — срок службы определяется временем, необходимым для исчерпания несущей способности арматуры, за счет уменьшения ее сечения при коррозии, т.е.:

$$t_L = t_0 + t_1, \quad (2)$$

где t_1 — время распространения коррозии, которое определяется временем, необходимым для максимально-допустимой потери площади поперечного сечения арматуры. Если принять, что время депассивации арматуры незначительно, то в этом случае формулу (2) можно записать в следующем виде:

$$t_L = t_1. \quad (3)$$

Время депассивации арматуры в бетоне при действии на него хлоридов и углекислого газа атмосферы можно определить исходя из известных моделей, основанных на законах диффузии Фика. Например, зависимость для определения времени возникновения коррозии арматуры при воздействии хлоридов на бетон имеет вид:

$$t_0 = \frac{1}{12 \cdot D \cdot \left[c / (1 - (C_{th} / C_s)^{1/2}) \right]^2}, \quad (4)$$

где D — коэффициент диффузии хлорид-ионов в бетоне;

c — толщина защитного слоя;

C_{th} — критическое содержание хлоридов у поверхности арматуры;

C_s – концентрация агрессивного раствора на поверхности конструкции.

Предельную концентрацию хлоридов у поверхности арматуры обычно принимают 0,4 % и 0,2 % от массы цемента для обычной и преднапряженной арматуры соответственно.

Для расчета времени депассивации арматуры при действии углекислого газа атмосферы используют следующую зависимость:

$$t_0 = \left(\frac{d}{K_c} \right)^2, \quad (5)$$

где d – глубина карбонизации,

K_c – коэффициент карбонизации.

Поскольку скорость протекания процесса карбонизации защитного слоя бетона определяется не только концентрацией углекислого газа, а также влажностными условиями, в которых эксплуатируется конструкция, то для расчета коэффициента карбонизации была предложена следующая зависимость [1]:

$$K_c = c_{env} \cdot c_{air} \cdot a \cdot f_{cm}^b, \quad (6)$$

где c_{env} – коэффициент, зависящий от условий эксплуатации конструкции;

c_{air} – коэффициент, зависящий от воздухопроницаемости бетона;

f_{cm} – средняя прочность бетона на сжатие;

a и b – коэффициенты, зависящие от вида вяжущего.

Примерные значения коэффициентов условий эксплуатации, воздухопроницаемости бетона и вида вяжущего приведены в табл. 1-3.

Таблица 1 – Примерные значения коэффициента, зависящего от условий эксплуатации конструкции

| Условия эксплуатации конструкции | Значение коэффициента c_{env} |
|--|---------------------------------|
| Конструкции, эксплуатирующиеся в сухих условиях | 1,0 |
| Конструкции, эксплуатирующиеся во влажных условиях | 0,5 |

Таблица 2 – Примерные значения коэффициента, зависящего от воздухопроницаемости бетона

| Характеристика бетона по воздухопроницаемости | Значение коэффициента c_{air} |
|---|---------------------------------|
| Полностью не проницаемы | 1,0 |
| Частично проницаемы | 0,7 |

Таблица 3 – Примерные значения коэффициентов, зависящих от вида вяжущего

| Вид вяжущего | a | b |
|---|------|------|
| Портландцемент без минеральных добавок | 1800 | -1,7 |
| Портландцемент с минеральными добавками | 400 | -1,2 |
| Шлакопортландцемент | 360 | -1,2 |

Для прогнозирования долговечности железобетона по второму способу, т.е., когда допускается возможность коррозионного поражения арматуры в результате карбонизации или воздействия агрессивных веществ, необходимо иметь в виду следующее: объем продуктов реакции в результате коррозии стальной арматуры во много раз превышает объем исходного материала, в результате чего в объеме бетона (как правило, защитный слой) возникают растягивающие напряжения, которые приводят к нарушению или полному разрушению защитного слоя. При данном виде коррозионного повреждения следует учитывать следующие факторы:

- уменьшение поперечного сечения арматуры;
- уменьшение прочности сцепления между бетоном и арматурой;
- растрескивание или полное разрушение приарматурного слоя, что снижает поперечное сечение бетонной конструкции и, как следствие, снижает несущую способность всей конструкции.

Для того, чтобы определить долговечность такой конструкции, необходимо определить влияние указанных факторов на ее несущую способность. В работе [2] этот предел предложено определять следующим образом:

$$t_1 = \frac{\Delta R_{\max}}{r}, \quad (7)$$

где ΔR_{\max} — максимальная потеря в радиусе арматуры за счет коррозии;
 r — скорость коррозии.

В общем случае потеря в сечении арматуры связана с коррозионным растрескиванием защитного слоя. В данном случае время, необходимое для исчерпания несущей способности арматуры за счет коррозии, может быть определено [3]:

$$t_1 = \frac{80 \cdot C}{D \cdot r}, \quad (8)$$

где C — толщина защитного слоя;

D — диаметр арматуры;

R — скорость коррозии.

Скорость коррозии арматуры зависит в значительной степени от окружающих условий (относительная влажность и температура). Скорость коррозии арматуры в бетоне предложено оценивать по следующей зависимости:

$$r = c_T \cdot r_0, \quad (9)$$

где c_T — коэффициент, зависящий от температуры;

r_0 — скорость коррозии при $+20^\circ \text{C}$.

Примерные значения скорости коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне и бетоне с присутствием солей-хлоридов приведены в таблице 4 [5].

Таблица 4 — Скорость коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне и бетоне с присутствием солей-хлоридов

| Относительная влажность воздуха, % | Карбонизированный бетон, мм/год | Бетон с присутствием солей-хлоридов, мм/год |
|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 99 | 0,02 | 0,34 |
| 95 | 0,5 | 1,22 |
| 90 | 0,12 | 0,98 |
| 85 | 0,03 | 0,78 |
| 80 | 0,01 | 0,61 |
| 75 | 0,001 | 0,47 |
| 70 | 0 | 0,36 |
| 65 | 0 | 0,27 |
| 60 | 0 | 0,19 |
| 55 | 0 | 0,14 |
| 50 | 0 | 0,09 |

Коэффициент, зависящий от температуры, определяется исходя из условий эксплуатации конструкции. В качестве примера можно привести температурные коэффициенты и скорости коррозии стальной арматуры, рассчитанные для некоторых городов Европы (таблица 5).

Таблица 5 — Температурные коэффициенты и рассчитанные скорости коррозии для некоторых городов Европы

| Город | Температурный коэффициент | Скорость коррозии, мм/год | |
|-----------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | | при эксплуатации во влажных условиях | при эксплуатации в сухих условиях |
| Хельсинки | 0,32 | 0,16 | 0,04 |
| Амстердам | 0,47 | 0,24 | 0,06 |
| Мадрид | 0,73 | 0,37 | 0,09 |

Скорости коррозии рассчитаны без учета влияния солнечного излучения на температуру поверхности конструкции. Однако следует отметить, что при определении температурных коэффициентов и скорости коррозии необходимо учитывать влияние микроклиматических особенностей района.

Данная методика разработана в предположении того, что скорость коррозии остается неизменной на всем протяжении процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vesikari E. (1994) Durability design of concrete structures with respect to frost attack: Proceedings of the Fourth International Symposium on Cold Region Development, 13-16 June. Association of Finnish Civil Engineers RIL, 2 pp.
2. Pihlajavaara S.E. (1994) Contributions for the development of the estimation of long-term performance and service life of concrete. Helsinki University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Surveying, Espoo, Report 3, 26 pp.
3. Srivastava K.N., Kumar M. A note on the problem of edge crack in a semi-circular plate // Int. J. Fract. – 1976. – 12, N4. – p.645-646.
4. Matala S. (1991) Service life model for frost resistance of concrete based on properties of fresh concrete, Nordisk Vagtekniska Forbundet, Broseminarium, Korsar, Denmark, 18 pp.
5. Vesikari E. (1995) Betonirakenteiden kayttoikamitoitus (Service life design of concrete structures). Association of Finnish Civil Engineers RIL, Helsinki. RIL 183-4.9/ (In Finnish, 120 pp.)
6. Petersson P.E. Fracture Energy of Concrete: Practical Performance and Experimental Results// Cement and Concrete research. –10, 1980. –p.91-101.
7. Strange P.C., Bryant A.H. Experimental Tests on Concrete Fracture// Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE. –105, 1979. –pp.334-343.
8. Wittmann F.H., Rokudo K., Bruhwiler E., Mihashi H., Simonin F. Fracture energy and Softening of Concrete as Determined by Means of compact tension specimens// Materials and Structures, ol. 21, 1988. –pp.21-32.
9. Wittmann F.H., Zaitsev Yu.V. Verformung und Bruchvorgang poroser Baustoffe bei kurzzeitiger Belastung und unter Dauerlast. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton, H, 232, West-Berlin, 1977. –24p.
10. Lott J.L., Kesler C.E. Crack Propagation in Plain Concrete, in Simposium on Structure of Portland Cement Paste and Concrete// Special report 90, Highway Research Board. –Washington, D.C., 1996. –p. 204-218.
11. Mindess S. The application of Fracture Mechanics to Cement and Concrete: a Historical Review// In: Fracture Mechanics of Concrete. –Amsterdam, Elsevier, 1983. –p.1-30.
12. Moavenzaden F., Kuguel R. Fracture of Concrete// Journal of Matherials. –4, 1969. –p.497-519.
13. Alford N. MCN., Poole A.B. The Effect of Shape and Surface Texture on the Fracture Toughness of Mortars.// Cement and Concrete Research. –9. –1979. –P. 583-589.
14. Bazant Z.P. Mechanics of distributed cracking// Applied Mechanics Reviews, ASME, Vol. 39, №5, 1984. – pp 675-705.
15. Bentur A., Mindess S., Banthia N. The behaviour of concrete under impact loading exptirmental procedures and method of analysis// RILEM Materials and structures 19, № 113, 1986. – pp 371-378.

УДК 666.97.017

Полейко Н.Л., Ковшар С.Н., Осос Р.Ф., Полейко Д.Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ОТ ДЕЙСТВИЯ ПОПЕРЕМЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ОТТАИВАНИЯ

В настоящее время не существует общего мнения относительно разработки моделей долговечности бетона при действии попеременного замораживания и оттаивания. Модели в основном предназначены для использования при проектировании на долговечность с коэффициентами безопасности. Однако следует отметить, что используемые модели не всегда в полной мере отражают факторы, влияющие на долговечности бетона, что выражается в различных формах разрушения бетона при попеременном замораживании и оттаивании.

Под воздействием попеременного замораживания и оттаивания имеется в виду постепенное разрушение бетона с поверхности. В данных условиях происходит постепенное уменьшение прочности бетона, и, как следствие, происходит окончательное разрушение бетона с поверхности.

Скорость разрушения бетона при попеременном замораживании и оттаивании в первую очередь определяется условиями воздействия окружающей среды. Коррозионное воздействие на бетон усиливается при применении солей-электролитов, в частности, при использовании хлористых солей они способствуют, наряду с попеременным замораживанием и оттаиванием, развитию физической коррозии бетона.

Основными причинами разрушения бетона при попеременном замораживании и оттаивании является 9%-ое увеличение в объеме воды при замораживании, возникновение давления от растущих