



УДК 639

Ф.Х. Ахметзянов

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВАРИАЦИОННОГО ПРИНЦИПА И МОДЕЛЕЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ДЛЯ ОЦЕНОК ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Вопросы повреждаемости строительных конструктивных элементов все больше привлекают внимание исследователей и инженеров вследствие необходимости определять остаточную несущую способность, сроки службы, сохраняемость, живучесть элементов при накоплении повреждений в этих элементах. Эти вопросы еще недостаточно разработаны. В данной статье на основе сформулированного вариационного принципа повреждаемости и некоторых моделей предлагается определение несущей способности и долговечности повреждаемых бетонных и железобетонных элементов.

Многими экспериментами были установлены вероятностные физико-механические характеристики бетона [1], [2], [3]. В большинстве случаев принимается нормальный закон распределения прочности, по которому в совокупности элементов структуры (в зернах, объемах, площадках, поперечных сечений) разброс прочности от среднего значения в элементах массового строительства достигает до трех среднеквадратических отклонений. Следовательно, по имеющим место траекториям минимальной прочности в элементах будет реализовываться повреждаемость. По таким траекториям вариационный принцип максимума повреждаемости связан с принципом минимума потенциальной энергии деформирования – П.

Для квазиоднородного напряженного состояния (например, для сжатого элемента) можно записать перед моментом появления повреждения:

$$\Pi = \iiint_v w dv - \iiint_n (xu + yv + zw) dv - \iint_s (x_n u + y_n v + z_n w) ds = \min, \quad (1)$$

где w , x_n , y_n , z_n – упругая энергия; составляющие нагрузки, по координатам приложенные к поверхности s ;

u , v , w – перемещения от составляющих нагрузок.

Метод определения несущей способности элемента с учетом повреждения с применением вариационного принципа повреждаемости и уравнения (1) заключается в использовании упругого решения, в котором (например, в методе Ритца-Тимошенко)

параметр повреждаемости D_i входит в неопределенный параметр C_i ряда, удовлетворяющего граничные условия.

Принятые функции подстановкой в выражения для потенциальной энергии после интегрирования и получения системы уравнений для их определения дают приближенное или точное решение задачи.

В связи с ограниченностью объема статьи здесь описана только идея использования принципа.

Процесс повреждаемости бетона конструктивных элементов можно характеризовать изменением параметра повреждаемости D , выражаемого через коэффициент упругости бетона $n = e^l / e_b$ и относительные напряжения s_i / R_b (для определенного вида и класса бетона). При кратковременном нагружении бетона строительных элементов для определения параметра повреждаемости пользуемся представлением величины относительных деформаций как суммы упругих e^l и неупругих e^{nl} :

$$e_b = e^l + e^{nl} \quad (2)$$

$$1 = e^l / e_b + e^{nl} / e_b \quad (3)$$

$e^l / e_b = n_b$ – коэффициент упругости бетона, тогда

$$1 = n_b + D \quad (4)$$

$$D = 1 - n_b, \quad (5)$$

здесь D – параметр повреждаемости.

Коэффициент упругости сжатого бетона зависит от относительного напряжения s / R_b . Экспериментально определенные его величины для бетона классов В15 и В60 опубликованы Узуном [4]. На основе этих экспериментов параметр повреждаемости представлен нами как функция относительного напряжения и класса бетона.

$$D = a(s / R)^2, \quad (6)$$



где $a = 0,5 + 0,0045(60 - B)$, (7)

где σ , R , B – текущее напряжение; прочность бетона в МПа; B – класс бетона по прочности на сжатие.

Текущий модуль упругости бетона при сжатии представим в виде:

$$E' = E_0 \left[1 - a \left(\frac{\sigma}{R_b} \right)^2 \right] \quad (8)$$

или $E' = E_0(1 - D)$ (9)

Сходимость выражений (6)...(9) (с опытными данными) для бетонов класса В15...В60 составляет $\pm 9\%$.

При длительном действии механической нагрузки коэффициент упругости $n(t)$ выражается по [5], [6] в виде:

$$n_b(t) = 1 / (1 + G_{b,cr}) \quad (10)$$

где $G_{b,cr}$ - характеристика ползучести.

Исходя из применимости выражения

$$D(t) = 1 - n_b(t), \quad (11)$$

можем записать:

$$E'(t) = E_0 n_b(t) \quad (12)$$

или $E'(t) = E_0 [1 - D(t)]$. (13)

Деформации для сжатого повреждаемого бетона элемента при кратковременном нагружении будут равны:

$$e_i = \frac{s_i}{E_0 \left[1 - a \left(\frac{\sigma}{R_b} \right)^2 \right]} \quad (14)$$

При длительном действии механической нагрузки предельные деформации равны:

$$\epsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_0 \left[\frac{1 - a(\sigma/R_b)^2}{1 + G_{b,cr}} \right]} \quad (15)$$

Довеличины относительных напряжений $\sigma/R_b = 0,6$ (для условной линейной ползучести) в соответствии с работами Г.Н. Маслова – Н.Х. Арутюняна [7], [8] и функцией $y(r)$ для предельной ползучести И.Е. Прокоповича (бетон без повреждений) [9] для повреждаемого бетона деформацию с учетом линейной ползучести предполагается определять по уравнению: в момент времени t при возрасте бетона в момент нагружения D_t при одноосном напряженном состоянии с учетом того, что

$$G_{b,cr}(t) = c(t)E_0 \quad (16)$$

$$e(t) = \frac{s(t_1)}{E_0 \left[1 - a \left(\frac{\sigma}{R_b} \right)^2 \right]} + s(t_1)C(t, t_1) +$$

$$+ \int_{t_1}^t \frac{ds(t)}{dt} \left[\frac{1}{E(t)} + [1 + y(t)(1 - e^{-g(t-t)})] \right] dt, \quad (17)$$

где $C(t, t)$ - мера ползучести бетона, $y(t)$ принимается для времени $0 < t_i \leq 50$; $t_i > 50$ по работе [10].

Для прогнозирования долговечности необходимы данные о скоростях деформирования и повреждаемости. На основе механических (реологических) моделей можно оценить время до предельного состояния элементов [11]. Ориентировочные оценки скорости повреждаемости можно производить на основе натуральных наблюдений. Например, в наружных стеновых панелях из керамзитобетона в жилых зданиях через 30 лет эксплуатации раскрытие трещин составляет до 1,5 мм. Средняя скорость раскрытия $\bar{V}_{crc} = 1,5/30 = 0,05$ мм/год. По нормам допускается раскрытие трещин при продолжительном нагружении $[a]$ не более 0,3 мм [6]. Следовательно, прогнозируемый срок ремонта с такими трещинами не должен превышать:

$$t_p = \frac{[a]}{\bar{V}_{crc}} = \frac{0,3}{0,05} = 6 \text{ лет.}$$

При этом заглупление трещин с поверхности элемента в толщину бетона составляло в среднем для легкого бетона триста раскрытий ($300a_{crc}^{max}$), а для тяжелого бетона – до $600a_{crc}^{max}$ [12].

Литература

1. Хаютин Ю.Г. Статистический анализ неоднородности бетона. – М.: Стройиздат, 1968. – 81 с.
2. Будегитский Р.И. Рассеяние прочностных показателей при испытаниях бетонных образцов. Сообщения АН Грузинской ССР, вып. 38, № 2, 1965.
3. Сулий Н.Г., Нгуен Динь Гонг. Неоднородность бетона в пределах конструктивного элемента и ее влияние на деформации, несущую способность и трещиностойкость железобетонных балок. // Известия вузов. Строительство и архитектура, №1, 1972. – С. 10-14.
4. Узун И.А. Коэффициент упругопластичности бетона сжатой зоны на всех стадиях работы элементов. // Бетон и железобетон, 1993, № 2. – С. 26-27.



5. Улицкий И.И. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. – Киев: Будивельник, 1967. – 340 с.
6. СП 52-101-03 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2003.
7. Маслов Н.Г. Термическое напряженное состояние бетонных массивов при учете ползучести бетона. Известия ВНИИГ, т.28. – М. 1940.
8. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. – М.: Гостехтеориздат, 1952.
9. Прокопович И.Е. К теории ползучести бетона. Научные доклады высшей школы. // Строительство, 1958, № 4.
10. Прокопович И.Е., Зедгенидзе. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
11. Ахметзянов Ф.Х. К оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций при накоплении повреждений. // Известия вузов. Строительство, №2, 1992. – С. 6-9.
12. Ахметзянов Ф.Х., Арсентьев Е.З. О соотношении заглубления трещин в бетоне к ширине их раскрытия на поверхности бетонных и железобетонных конструкций. / Тезисы докладов второй всероссийской конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции». – Чебоксары, 1999. – С. 26-28.