

УДК 624.012.45.04

Н.И. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, академик РААСН;
С.Н. КАРПЕНКО, д-р техн. наук,
Научно-исследовательский институт строительной физики (Москва)

К определению прочности бетона при трехосном сжатии

Предложен критерий прочности бетона при трехосном сжатии. Показано, что прочность зависит не только от главных напряжений σ_1 и σ_3 , их отношений, но и от среднего напряжения σ_2 . Это влияние наиболее просто выражено в функции от параметра Лодэ–Надаи.

Ключевые слова: трехосное сжатие, критерий прочности, главные напряжения, параметр Лодэ–Надаи.

Критерии прочности бетонов при различных видах трехосного напряженного состояния разрабатывались в работах многих исследователей (Г.А. Гениева, О.Я. Берга, П.К. Лукаш, Ю.Н. Малашкина, Н.И. Карпенко, В.М. Круглова, А.В. Яшина и др.). Подробный обзор критериев приведен в [1, 2].

Однако для области трехосного сжатия наибольшее применение нашел простой критерий прочности бетона в виде:

$$\sigma_3 = -R_b + \beta_n \sigma_1, \quad (1)$$

где R_b – прочность бетона при одноосном сжатии; β_n – константа материала (по предложению А.А. Гвоздева, $\beta_n=5$, это значение также принято в Еврокоде 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1: Общие правила проектирования (русская версия, редактор перевода канд. техн. наук В.И. Клящицкий); в отдельных работах $\beta_n=4,1$); σ_3 , σ_1 – соответственно максимальное и минимальное по модулю напряжения сжатия; среднее по модулю напряжения сжатия σ_2 в условии (1) не входит. Однако условие (1) чаще всего относят к случаю, когда $\sigma_2=\sigma_1$.

В условии (1) напряжения сжатия приняты за отрицательные. При этом в случае трехосного сжатия напряжениями σ_1 , σ_2 , σ_3 максимальными будут напряжения σ_1 , которые равны минимальным по модулю напряжениям сжатия, а минимальными – напряжения σ_3 , хотя по модулю эти напряжения превышают напряжения σ_1 и σ_2 , т. е. являются максимальными.

Согласно исследованиям [2] параметр β_n не является постоянной величиной, а описывается некоторой дробной функцией:

$$\beta_n = \frac{1+a-a\frac{\sigma_1}{\sigma_3}}{b+(f-b)\frac{\sigma_1}{\sigma_3}}, \quad (2)$$

где a , b , f – коэффициенты материала.

Обработка экспериментальных исследований по определению прочности тяжелых бетонов при трехосном сжатии вида $\sigma_3 < \sigma_2 = \sigma_1$ многих исследователей (А.В. Яшина, Р.Г. Касимова, Ю.Н. Малашкина и Б.В. Тябликова и др.),

выполненная в [2], показала, что некоторую нижнюю границу прочности кривая (2) описывает при $b=0,118$; $a=0,5b$, $f=1$, а некоторым средним значениям прочности соответствует кривая (2) при $b=0,096$; $a=0,5b$, $f=1$. Однако в соотношениях (1), (2) не учтено влияние изменения среднего напряжения σ_2 на прочность. Так, при двухосном сжатии, когда $\sigma_1=0$, $\sigma_2 \geq \sigma_3$, из (1) следует $\sigma_3 = -R_b$, в то время как экспериментальные исследования указывают на то, что σ_3 будет зависеть еще и от значений σ_2 . Чтобы учесть влияние среднего напряжения на прочность, условие (1) записывается в виде:

$$\sigma_3 = k_c (-R_b + \beta_n \sigma_1), \quad (3)$$

где k_c – функция влияния среднего напряжения σ_1 на прочность. Подставляя β_n из (2) в условие (3), приводим (3) к квадратному уравнению по определению σ_3 .

Обработка результатов экспериментальных исследований прочности бетона при двухосном сжатии показала, что функцию k_c можно принять в виде:

$$k_c = 1 + \frac{cR_{bt}}{R_b} \left[1 - d\mu_\sigma - (1-d)\mu_\sigma^3 - e(1-\mu_\sigma)^2 \right], \quad (4)$$

где c , e – коэффициенты материала (для тяжелых бетонов $c \approx 5$; $e \approx 0,44$; $d=0,8$); R_{bt} – прочность бетона при одноосном растяжении; μ_σ – параметр Лодэ–Надаи:

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}. \quad (5)$$

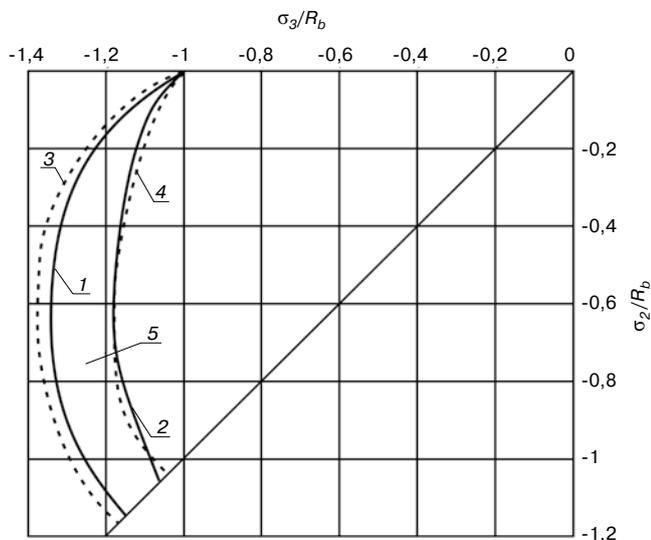
Этот параметр удобен тем, что изменяется в пределах $1 \geq \mu_\sigma \geq -1$.

Значение μ_σ , при котором функция k_c достигает максимума, определяется из условия:

$$\frac{dk_c}{d\mu_\sigma} = 0 = -d - 3(1-d)\mu_\sigma^2 + 2e(1-\mu_\sigma), \quad (6)$$

откуда:

$$\mu_\sigma = \frac{2e \pm \sqrt{4e^2 - 12(1-d)(d-2e)}}{6(1-d)}, \quad (7)$$



Кривые прочности бетона при двухосном сжатии: 1 – теоретическая линия при $R_b=10$ МПа, $R_{bt}/R_b=0,12$; 2 – то же, при $R_b=50$ МПа, $R_{bt}/R_b=0,06$; 3 и 4 – нижняя и верхняя границы достоверных опытных значений из работы А.И. Ноткуса, А.П. Кудзиса «О надежности результатов двухосных испытаний бетона» (Железобетонные конструкции. Вильнюс, 1979); 5 – область экспериментальных данных

где перед корнем принимаем знак плюс. Зависимость (7) удобно использовать для анализа экспериментальных данных.

Если в экспериментальных исследованиях выявляется μ_σ , при котором функция k_c достигает максимума, то усло-

вие (7) можно использовать для корректировки параметров e и d , которые соответствуют этому максимуму.

Естественно, при этом будет уточняться и параметр c исходя из сопоставления значений k_c с данными экспериментов.

В случае плоского сжатия ($\sigma_1=0$) формула (5) преобразуется к виду:

$$\mu_\sigma = 1 - 2 \frac{\sigma_2}{\sigma_3}, \quad (8)$$

при этом зависимости (3) и (4) записываются:

$$\sigma_3 = -k_c R_b; \quad (9)$$

$$k_c = 1 + \frac{c R_{bt}}{R_b} \left[1 - d + 2d \frac{\sigma_2}{\sigma_3} - 4e \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_3} \right)^2 - (1-d) \left(1 - 2 \frac{\sigma_2}{\sigma_3} \right)^3 \right]. \quad (10)$$

Зависимость (9) при условии (10) или условиях (4), (7) хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при определении прочности при двухосном сжатии (см. рисунок).

Список литературы

1. Карпенко С.Н. О разработке более совершенных трехинвариантных критериев прочности бетонов // Известия Орловского государственного технического университета. Строительство. Транспорт. 2007. № 2/14. С. 42–49.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 407 с.

Е.В. Левин
А.Ю. Окунев
Н.П. Умнякова
И.Л. Шубин

ОСНОВЫ
СОВРЕМЕННОЙ
СТРОИТЕЛЬНОЙ
ТЕРМОГРАФИИ

Москва,
НИИСФ РААСН
2012

ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

Е.В. Левин, А.Ю. Окунев, Н.П. Умнякова, И.Л. Шубин

Под общей редакцией д-ра техн. наук И.Л. Шубина

Книга содержит результаты теоретических и практических исследований по применению тепловизоров для термографического обследования объектов. Детально изложены такие важные вопросы, как испускание и отражение излучения различными поверхностями, а также влияние земной атмосферы на результаты измерений.

Рассмотрены принципы измерения температур тепловизионным методом, основанные на решении уравнения энергетического баланса для приемника излучения. Приведен анализ причин неточности термограмм и способы их устранения в приложении к термографированию в строительстве. Книга содержит большое количество иллюстраций в виде термограмм, поясняющих текст.

Книга предназначена для научных, инженерно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов, а также для специалистов в области строительной термографии.

По вопросам приобретения обращайтесь по тел: (495) 482-4076, 482-3892 или e-mail: niisf@niisf.ru

М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 176 с. – 1500 экз. – ISBN 978-5-902630-08-1