

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ С РАСТЯЖЕНИЕМ
БЕТОНА В-30****Зиборов Л.А., Теличко В.Г.***Тульский государственный университет, г. Тула,**Рассматриваются результаты экспериментального исследования прочности бетона В-30 при сжатии с растяжением для простого нагружения и предложенного условия прочности.*

В задачу проектирования железобетонных конструкций входит обеспечение прочности по предельным состояниям и снижение материалоемкости. Решение этих вопросов возможно на основе теоретического и экспериментального исследования прочности бетона в условиях сложного напряженного состояния.

Проведение экспериментов по исследованию прочности бетона в условии сложного напряженного состояния имеет определенные технические трудности [3 - 5] по изготовлению образцов и по проведению опытов. Выбор критерия прочности бетона, обладающего различным сопротивлением растяжению и сжатию, не имеет необходимого проектного решения [1, 8, 9].

Условие прочности должно удовлетворять экспериментам и иметь простой аналитический вид, позволяющий использовать его для решения инженерных задач [6, 7].

Среди существующего большого числа [1, 8, 9] теорий прочности с различным сопротивлением одноосному растяжению и сжатию, применяемых к бетону, можно отметить условие Г.А. Генниева [1], в котором используются два базисных параметра, определяемых для простого растяжения и сжатия, и пятипараметрическое условие прочности [2].

Предложено [2] условие прочности в виде поверхности второго порядка.

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + A_{12}\sigma_1\sigma_2 + A_{23}\sigma_2\sigma_3 + A_{13}\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_{bt} \quad (1)$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ – главные напряжения; R_b – предел прочности при сжатии ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -R_b$); R_{bt} – предел прочности при растяжении ($\sigma_1 = R_b, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$); A_{12}, A_{23}, A_{31} – экспериментально определяемые параметры [2]. Проверка и определение A_{12}, A_{23} для бетона В-30 рассмотрено ранее [3, 4]. Для сжатия с растяжением $\sigma_1 > \sigma_2 = 0 > \sigma_3$ условие (1) имеет вид:

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + A_{13}\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + \sigma_3) = R_b R_{bt} \quad (2)$$

где

$$A_{13} = 2 - \frac{R_b R_{bt}}{T^2}, \quad (3)$$

T – предел прочности при сдвиге ($\sigma_1 = -\sigma_3 = T, \sigma_2 = 0$).

Из условия (1), когда $A_{12} = A_{23} = A_{31} = -1$, для двухпараметрического условия [1] величину T получим

$$T = \sqrt{\frac{R_b R_{bt}}{3}}. \quad (4)$$

Для определения величин A_{13}, R_b, R_{bt} и экспериментальной проверки (1) в виде (2) бетона В-30 при растяжении со сжатием проведены испытания бетонных тонких трубчатых образцов.

Сжатие с растяжением достигалось сжимающей осевой силой прессы и внутреннего давления воздуха, поступавшего в резиновый цилиндр, расположенный внутри трубчатого образца. Осевые усилия от гидростатического давления погашалось специальной конструкцией. Экспериментальные данные обрабатывались как для тонких труб. Размеры трубчатых образцов: общая длина 800 мм; рабочая часть 450 мм; внутренний диаметр 187 мм; толщина стенки рабочей части 11 мм, опорной части 21,5 мм. Образцы бетонировались в вертикальном положении в разборной металлической опалубке штыкованием с вибрацией из цемента М-400, состав бетона (цемент, песок) 1:3, водоцементное отношение 0,33.

Образцы распалубливались в возрасте двух дней, затем хранились влажной среде, из одного замеса готовились три трубчатых образца и контрольных кубика. Размеры и форма трубчатого образца даны на рис. 1.

Испытание на сжатие с растяжением трубчатых образцов проводилось при простом нагружении при различных соотношениях главных напряжений σ_1 / σ_3 . В таблице 1 приведены результаты испытания и даны средние значения $\sigma_1^{(m)}, \sigma_3^{(m)}$ обработка данных по одной серии из трех образцов.

На основании экспериментов параметр A_{13} определяем из условия (3). Для сжатия с растяжением $\sigma_1 > \sigma_2 = 0 > \sigma_3$ с учетом экспериментальных данных и параметров A_{13}, R_b, R_{bt} для бетона В-30 получим условие (3) в таком виде:

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 10,20 \sigma_1 \sigma_3 + 24,50 (\sigma_1 + \sigma_3) = 64,56. \quad (5)$$

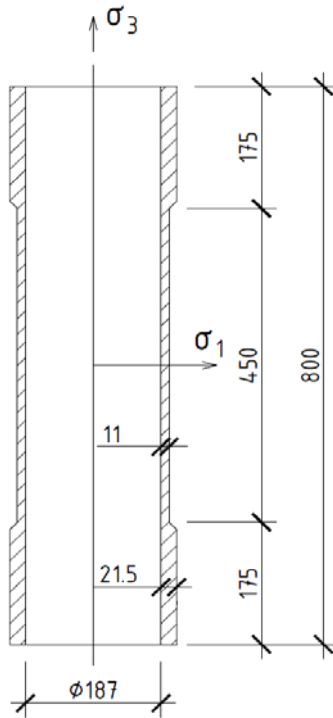


Рис. 1. Размеры трубчатого образца

Таблица 1. Результаты испытания

№ серии	Радиальное растяжение $\sigma_1^{(m)}$, МПа	Осевое сжатие $\sigma_1^{(m)}$, МПа
1	$R_{bt} = 2,40$	0
2	2,38	-0,35
3	2,36	-0,79
4	2,33	-1,41
5	$T = 2,30$	$T = -2,30$
6	2,12	-3,53
7	1,73	-5,21
8	1,42	-9,89
9	1,21	-21,81
10	0	$R_b = -26,9$

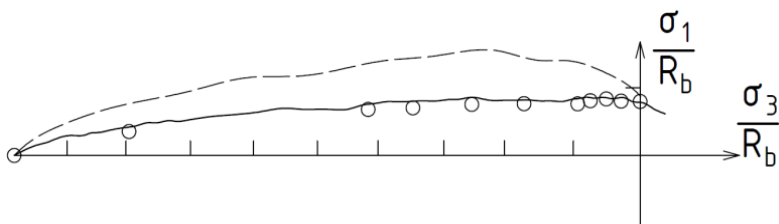


Рис. 2. Результаты испытания на сжатие бетона В-30; а – условие (2), 5; б – двухпараметрическое условие прочности (4) [1].

Итак, прочность бетона для сжатия с растяжением по условию (2) в виде (5) уменьшается в сравнении с простым растяжением или сжатием; прочность бетона при чистом сдвиге можно принять $\sigma_1 = -\sigma_3 = T = 0,9 \div 0,95 R_{bt}$; увеличение расчетных параметров до пяти в условии (1) в виде (2) позволяет получить хорошее совпадение экспериментальных данных и предельного условия (1); условие (1) в виде (2) имеет простой аналитический вид и не вызывает затруднения в расчетах прочности при известных главных напряжениях.

Литература

1. Гениев Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
2. Зиборов Л.А. Проблемы освоения подземного пространства / Л.А. Зиборов // Труды межд. Конференции. – Тула: ТулГУ, 2000. – С. 54-58.
3. Теличко В.Г., Зиборов Л.А. Условие прочности при двухосном сжатии бетона класса В-30 // 8-ая Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». 1-2 ноября. – Тула-Донецк-Минск: Изд-во ТулГУ, Т.2, 2012 – С. 204-207.
4. Теличко В.Г., Зиборов Л.А. О прочности бетона В30 при двухосном растяжении // Сборник материалов XIII Международной научно-технической конференции: «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 21-22.
5. Кублань И.Я. Разрушение сложно нагруженного бетона / И.Я. Кублань // Исследования по бетону и железобетону. – Рига, 1960. – сб. V. – С. 223-229.
6. Теличко В.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций из железобетона / В.Г. Теличко, А.А. Трещев // Известия ТулГУ. Сер. Строительные материалы, конструкции и сооружения. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – Вып. 8. – С. 147-161.

7. Теличко В.Г. Определение напряженно-деформированного состояния трубчатых железобетонных оболочек при чистом кручении методом конечных элементов / В.Г. Теличко, А.А. Трещев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Сер. механика предельного состояния. – Чебоксары: ЧГПУ, 2007. – №1. – С. 138-156.
8. Толоконников Л.А. О форме предельной поверхности изотропного тела / Л.А. Толоконников // Прикладная механика. – 1969. – Вып. 10. – Т.5. – С. 123-130.
9. Филоненко-Бородич М.М. Механические теории прочности. / М.М. Филоненко-Бородич. – М.: МГУ, 1961. – 89 с.

УДК 539.384.6

РАСЧЕТ ШАРНИРНО ОПЁРТОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА НА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В СВЯЗАННОЙ ПОСТАНОВКЕ ПРИ КОНЕЧНЫХ ПРОГИБАХ

Делягин М.Ю., Трещёв А.А.

Тулский государственный университет

Рассмотрена задача расчета пологих сферических оболочек из материалов, свойства которых зависят от вида напряженного состояния, на сочетание механической и температурной нагрузок при конечных прогибах. Оценено влияние разносопротивляемости, связанности и геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние шарнирно опертой сферической оболочки из конструкционного графита АРВ.

У большинства новых материалов проявляется зависимость механических и температурных свойств от вида реализуемого в точке напряженного состояния. Для описания эффекта разносопротивляемости воспользуемся методикой нормированных пространств напряжений [1, 2]. Дополнительно учтем температурные эффекты деформирования, возникающие вследствие связанности полей напряжений и температур, что особенно важно для конструкций энергетической отрасли, а также геометрическую нелинейность, которая свойственна тонкостенным оболочкам.

Уравнения состояния изотропного разносопротивляющегося материала, находящегося в температурном поле, получим в пространстве главных напряжений, применив операции дифференцирования к термодинамическому потенциалу Гиббса [1], в форме $e_k = -\partial\Gamma / \partial\sigma_k$ и $L = \partial\Gamma / \partial T$. Переходя к цилиндрической системе координат и используя статическую гипотезу Кирхгофа-Лява, принимаем $\sigma_z = 0$, тогда, с учетом осесимметричного нагружения получим: