

Таблица 5. Расчет рентабельности и ликвидности

Наименование показателя	Период					На конец года
	На начало года	I	II	III	IV	
Распределенная прибыль		69500	80250	85894	96961	
Приобретение ОФ		0	5000	5000	10000	
Долгосрочные активы	13302039	13265739	13234438	13203138	13176837	
Рентабельность активов по балансовой прибыли	0,0128	0,00544	0,01488	0,01579	0,00942	0,04597
Рентабельность активов по чистой прибыли	0,0043	0,00247	0,00972	0,01043	0,00556	0,02849
Коеф. текущей ликвидности	0,96	0,927	0,985	1,028	1,044	
Коеф. обеспеченности	-0,05	-0,079	-0,016	0,028	0,042	

Из анализа финансового состояния предприятия на 1 января 2002г. испытывает кризис ликвидности, так коэффициент текущей ликвидности равен 0.96 (при нормативе 1.2), коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами равен -0.05 (при нормативе 0.15). Кроме этого, показатель Альтмана для организации акции, которой не котируются на рынке, составляет 2.053, что говорит о высокой вероятности банкротства. Период оборота дебиторской задолженности на 31 декабря 2001г. составил 53 дня, период оборота кредиторской задолженности составил 143 дня.

В табл. 1 приведены полные издержки строительной организации на плановый объем выполняемых работ. Плановый объем выполняемых работ определяем согласно выражению (10). При реализации алгоритма принимаем, что при уменьшении стоимости работ на 1% объем работ увеличивается на 5%. Процент изменения стоимости определяем, пользуясь следующим выражением  $E_d \cdot T_D / T \cdot 100\%$ . В табл. 2 и 3 приведен расчет потребности организации в текущих активах и пассивах.

В табл. 4 приведены процентные ставки по кредиту и процентные ставки по депозиту и рассчитана сумма процентов по кредиту и депозиту.

В табл. 5 приведен расчет показателей рентабельности и ликвидности организации.

В результате получим, что исходя из максимизации чистой прибыли, Стройтресту №8 необходимо понизить период оборота дебиторской задолженности с 55 дней на начало 2002 года до 35 дней в первом и втором кварталах, и до 37 дней в третьем и четвертом кварталах. Однако в результате этого мы получим снижение объемов СМР в 2002 году. Так планировалось, что объем СМР на 2002 год составит 17184 млн. руб. при чистой прибыли 289875 тыс. руб., но и период дебиторской задолженности составит 55 дней. В результате реализации нашего алгоритма получили, что объем СМР составит 13169 млн. руб. при чистой прибыли 444517 тыс. руб., т.е. снижение объемов СМР составит 23%, но увеличение чистой прибыли составит 53%. Часть чистой прибыли идет на пополнение чистого оборотного капитала.

Так при снижении периода дебиторской задолженности получим снижение периода оборота кредиторской задолженности с 143 дней на начало 2002 года до 93 дней в первом квартале и до 87 дней в четвертом квартале. В результате получилось, что коэффициент текущей ликвидности возрос с 0.96 до 1.044 на конец 2002 года, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами с -0.05 до 0.042 (в результате прироста чистой прибыли). Кроме того, показатель Альтмана равен 3.394 (низкая вероятность банкротства), что свидетельствует о постепенном выходе Стройтреста №8 из кризиса.

В случае постоянного периода дебиторской задолженности в 55 дней получим снижение периода оборота кредиторской задолженности до 117 дней в четвертом квартале. В результате получилось, что коэффициент текущей ликвидности незначительно возрос с 0.96 до 0.985 на конец 2002 года, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами с -0.05 до -0.015. Показатель Альтмана равен 2.630 (высокая вероятность банкротства). Т.е. организация по итогам 2002 года не в состоянии выйти из кризиса (ни один из показателей не удовлетворяет нормативу).

В итоге согласно вышеприведенному расчету Стройтрест №8 может выйти из кризиса ликвидности, но при этом должен пожертвовать частью годового объема СМР. Однако еще одна трудность заключается в том, что выполнение годового объема СМР контролируется государством.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Корсаков Д.Б. Как увеличить прибыль. Часть 1. <http://korsacov.adviser.ru>
2. Руссель А. Управление дебиторской задолженностью// Экономика, финансы, управление. – 2002 - №№ 3-5.
3. Антонок Я.С. Влияние изменения структуры стоимости продукции на норматив оборотных средств// Вестник БГТУ. Экономика. – 2001 - №3.
4. Edward I. Altman. Predicting financial distress of companies: revisiting the Z-score and ZETA models. – 2000. <http://pages.stern.nyu.edu/ealtman/Zscores.pdf>
5. Антонок Я.С. Критерии оптимизации управления материальными запасами строительных предприятий// Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2002. - №1.

УДК 624.012.35

Рак Н.А.

## СТЕРЖНЕВАЯ РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ БЕТОНА КАК СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ

В разработанной ранее [1,2] расчетной модели бетон предложено рассматривать как трехкомпонентный материал, состоящий из крупного заполнителя, матрицы (цементно-

песчаного раствора) и транзитного слоя между ними. Вначале на основе комплекса данных о составе бетонной смеси и свойствах заполнителей по соответствующим формулам определяются основные геометрические параметры структур-

**Рак Николай Александрович.** Доцент, к.т.н., доцент каф. железобетонных и каменных конструкций Учреждения образования Белорусского национального технического университета.  
Беларусь, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65 E-mail: nrak@sf.unibel.by

ной модели бетона. Затем при известных физико-механических характеристиках перечисленных составляющих структуры бетона с использованием конечно-элементных моделей определяется диаграмма деформирования бетона. Указанную диаграмму в дальнейшем предполагается использовать при расчете нормальных сечений железобетонных элементов по деформационной модели, положенной в основу норм проектирования. Наличие в модели трех компонентов позволяет учитывать в расчете не только свойства двух основных компонентов (крупного заполнителя и раствора), но и особенности их совместной работы путем задания соответствующих свойств транзитного слоя. Кроме того, появляется возможность учесть при расчете неоднородность составляющих бетона по сечению элемента, обусловленную влиянием как технологических, так и случайных факторов.

В работах [1, 2] были исследованы ряд структурных моделей бетона, различающихся количеством компонентов, их объемными концентрациями, соотношением деформационных характеристик составляющих. На основе этих расчетов было оценено влияние различных факторов на начальный модуль упругости бетона, выполнено сравнение ряда предположений по его определению расчетом.

Анализ результатов исследований показал, что при неодинаковых деформационных свойствах компонентов наблюдается значительная концентрация напряжений на контакте разномодульных материалов. При сравнительно невысоких уровнях напряжений элементы работают в упругой стадии, что в результате позволило с большой достоверностью предсказать начальный модуль упругости бетона различных композиций.

Затем были выполнены пробные расчеты моделей при условии задания реальных неупругих свойств матрицы в виде упрощенной упругопластической диаграммы деформирования. Однако в связи с большой размерностью модели возможности используемого программного пакета «*NASTRAN for Windows*» оказались недостаточны для решения поставленной задачи нахождения нелинейной диаграммы деформирования. Устойчивое решение нелинейной задачи достигалось только до тех пор, пока доля упругих деформаций в полных деформациях превышала 75 %, что примерно соответствует уровню напряжений 75 % от прочности цилиндрических образцов, испытанных на осевое сжатие. При дальнейшем увеличении задаваемых перемещений программа не находила решения задачи в реальное время расчета.

В связи с невозможностью получения полной нелинейной диаграммы деформирования бетона путем прямого расчета моделей методом конечных элементов представляется целесообразным решение этой задачи производить последовательно в несколько этапов.

На первом этапе на основе расчета упругих моделей с варьированием наиболее существенных параметров получить данные о распределении напряжений в структурно неоднородном материале.

На втором этапе на основе анализа напряженно-деформированного состояния конечно-элементных моделей разработать более простую в расчетном смысле структурную модель бетона, позволяющую с максимальной адекватностью описать поведение конечно-элементных моделей при нагружении. При этом следует стремиться к тому, чтобы разрабатываемая модель по возможности позволяла получение решения аналитическим путем.

На третьем этапе с использованием разработанной модели, закладывая нелинейные диаграммы деформирования составных материалов модели, получить нелинейную диаграмму деформирования бетона.

В рамках статьи приведены результаты исследований, относящиеся преимущественно к первому и второму этапу решения рассматриваемой задачи.

Прежде чем перейти непосредственно к изложению результатов исследований следует отдельно рассмотреть ряд методических аспектов.

## О ВЫБОРЕ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА

В первую очередь это касается выбора модели материала. Как уже отмечалось в [1,2] в целом ряде исследований, в том числе выполненных в нашей стране [3], бетон рассматривался как двухкомпонентный материал, содержащий матрицу в виде окаменевшего цементно-песчаного раствора и включения в нее в виде зерен крупного заполнителя. Позднее [4] в структуре бетона была дополнительно выделена третья компонента, — так называемая контактная (транзитная) зона между матрицей и крупным заполнителем.

Естественно выделение в структуре бетона новых компонент позволяет в какой-то мере более удовлетворительно отразить ряд особенностей их влияния на поведение материала под нагрузкой. В то же время следует отдавать себе отчет в том, что чрезмерное усложнение моделей не всегда оправданно и вызывает, как правило, необходимость нахождения тем или иным путем новых нестандартных характеристик материалов. В связи с этим предпочтение следует отдавать таким моделям, исходные данные для которых могут быть получены в рамках стандартных испытаний либо на основе использования результатов этих испытаний. С учетом высказанных выше соображений наиболее приемлемой следует признать двухкомпонентную модель.

Вторым важным аспектом методики исследований является выбор вида объемной конечно-элементной модели, на которой будет изучаться напряженно-деформированное состояние бетона. Важнейшим из требований к объемной конечно-элементной модели является возможность ее сравнительно несложной трансформации в более простую стержневую модель, которая в свою очередь должна быть удобна для применения при расчете железобетонных элементов. Следует отметить, что уже имеется ряд исследований, в которых для описания структуры бетона применялись стержневые модели различных видов. К наиболее известным из них следует отнести работы А. Baker [5], Е. Reinius [6], Ю.Н. Малашкина [7] и др. Всесторонний анализ недостатков и преимуществ указанных моделей приведен в монографиях И.Н. Ахвердова, А.Е. Смольского и В.В. Скочеляса [3], М.М. Холмянского [8], В.Г. Орехова и М.Г. Зерцалова [9]. Основными недостатками указанных моделей согласно мнению авторов перечисленных выше монографий явилась их сложная структура и отсутствие простых аналитических зависимостей для назначения параметров элементов-стержней. Очевидно, что сложная структура модели объясняется стремлением описать с их помощью поведение бетона в условиях сложных (неодноосных) напряженных состояний. Естественно, что в этом случае получение простых аналитических зависимостей для назначения параметров элементов модели очень проблематично. В связи с этим представляется целесообразным поставить задачу разработки модели для условий одноосного сжатия. В этом случае наиболее приемлемой является такой вид конечно-элементной модели, когда ряды равновеликих шаров крупного заполнителя, расположенных в матрице с постоянным шагом по длине этого ряда, ориентированы вдоль оси сжимающих напряжений. При такой модели создаются предпосылки для ее последующего преобразования в систему стержневых элементов, ориентированных вдоль направления действия сжимающих напряжений.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Такая конечно-элементная модель и была выбрана в качестве базовой модели в настоящих исследованиях. За основу была принята модель «цилиндр», использовавшаяся ранее в [1, 2].

Общие размеры модели «цилиндра» (рис. 1) составили: — в направлении оси  $X$  — 7,5 мм; — в направлении оси  $Y$  — 15,0 мм; — в направлении оси  $Z$  — 12,9904 мм.

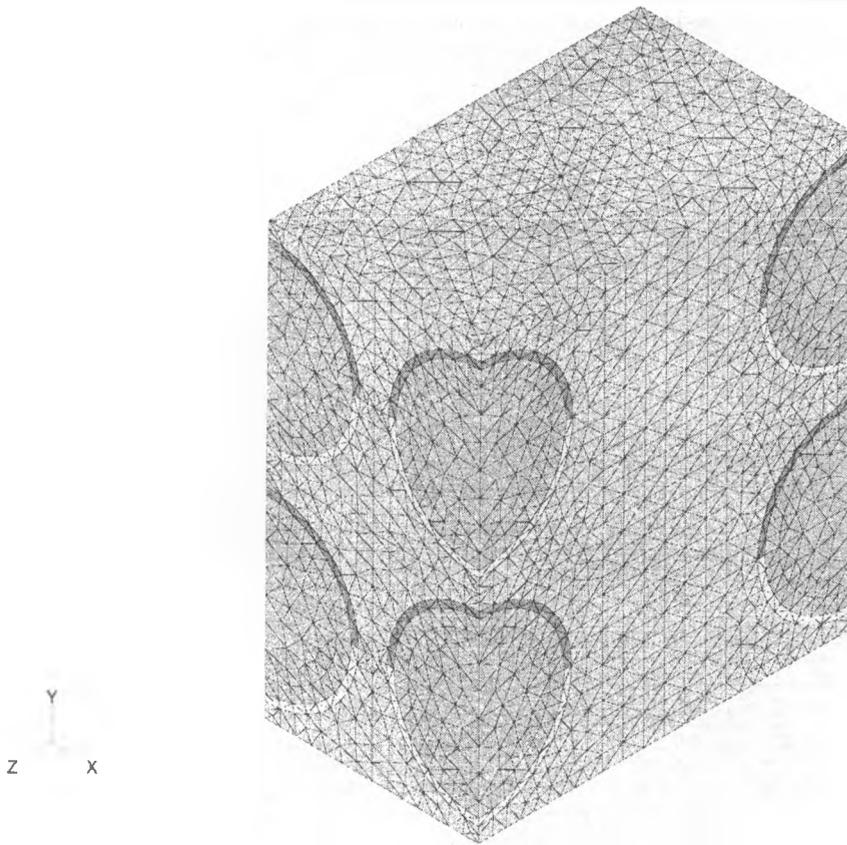


Рис. 1. Общий вид КЭ-модели бетона.

Размеры элементарных ячеек в направлении соответствующих осей в модели «цилиндре» равны  $l_z = l\sqrt{3}$ ;  $l_x = l_y = l$ .

При неизменной топологической структуре модели путем соответствующего задания жесткостных характеристик концентрических шаровых сфер удалось создать три различных модели при постоянной величине  $l_x = r_{agr} + \delta_{mat}$ , равной 3,75 мм. Здесь  $r_{agr}$  — радиус зерна крупного заполнителя,  $\delta_{mat}$  — половина расстояния между зернами крупного заполнителя.

Радиус  $r_{agr}$  зерна крупного заполнителя принимался интегрально, исходя из равенства удельной поверхности зерен модели фактической удельной поверхности крупного заполнителя по формуле

$$r_{agr} = \frac{3}{S_{agr} \cdot \rho_{agr}}, \quad (1)$$

где  $S_{agr}$  и  $\rho_{agr}$  — соответственно удельная поверхность и плотность крупного заполнителя.

Половина расстояния между зернами крупного заполнителя  $\delta_{mat}$  принимается исходя из состава бетонной смеси, а также свойств ее составляющих, и определяется по формуле

$$\delta_{mat} = \left( \sqrt[3]{\frac{(1 - m_{h,agr}) \cdot \rho_{agr}}{G_{agr}} - 1} \right) \cdot r_{agr}, \quad (2)$$

где  $m_{h,agr}$  — пустотность крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии,

$G_{agr}$  — расход крупного заполнителя на  $m^3$ .

Таблица 1. Сведения о составах бетонной смеси и о геометрических параметрах моделей

Шифр модели*	$S_{agr}$ , $см^2/кг$	$G_{agr}$ , $кг/м^3$	$r_{agr}$ , $мм$	$\delta_{mat}$ , $мм$	$\alpha$	$m_{agr}$	$m_{mat}$	$A_{tot}$ , $мм^2$	$A_{agr}$ , $мм^2$	$A_{mat}$ , $мм^2$
C250-125	0,462	466	2,50	1,25	0,500	0,176	0,824	97,43	39,07	58,36
C300-75	0,385	805	3,00	0,75	0,250	0,306	0,694	97,43	56,26	41,17
C325-50	0,325	1024	3,25	0,50	0,154	0,389	0,611	97,43	66,03	31,40

\* Каждая модель зашифрована по следующей схеме: C  $r_{agr}$  (мкм)- $\delta_{mat}$  (мкм)

Таблица 2. Основные результаты расчетов конечно-элементных моделей тяжелого бетона

Шифр расчета*	$p$	$E_{tot}$ , ГПа	$\sigma_{agr}$ , МПа	$\sigma_{mat}$ , МПа	$\sigma_c$ , МПа	$\omega_{cf}$	$\omega_{ca}$ по (5)	$\frac{\omega_{cf}}{\omega_{ca}}$
C250-125-1	1	30,00	30,00	30,00	30,0	1,000	1,000	1,000
C250-125-2	2	33,92	43,25	27,68	44,8	1,036	1,018	0,983
C250-125-4	4	37,76	56,68	25,10	59,4	1,048	1,034	0,988
C250-125-8	8	40,79	67,20	23,11	71,5	1,064	1,051	0,987
C250-125-16	16	42,79	74,14	21,81	79,0	1,066	1,064	0,999
C300-75-1	1	30,00	30,00	30,00	30,0	1,000	1,000	1,000
C300-75-2	2	37,18	45,15	26,28	52,8	1,170	1,144	0,978
C300-75-4	4	45,07	62,01	21,91	80,4	1,297	1,274	0,983
C300-75-8	8	52,04	76,62	18,45	107,0	1,397	1,391	0,996
C300-75-16	16	57,11	87,07	16,17	127,0	1,459	1,495	1,025
C325-50-1	1	30,00	30,00	30,00	30,0	1,000	1,000	1,000
C325-50-2	2	39,44	46,23	25,16	56,9	1,231	1,224	0,994
C325-50-4	4	50,71	65,64	19,32	95,8	1,459	1,427	0,978
C325-50-8	8	61,68	84,06	14,61	139,4	1,658	1,609	0,970
C325-50-16	16	70,40	98,45	11,42	176,5	1,793	1,771	0,987

\* Каждый вариантный расчет зашифрован по следующей схеме:  $C r_{agr}$  (мкм)- $\delta_{mat}$  (мкм)- $p$

Сведения о составах бетонной смеси и основных геометрических параметрах моделей приведены в таблице 1.

Нижний торец конечно-элементных моделей закреплялся от перемещений по оси  $Z$ . Кроме того, закреплялись от перемещений в направлении осей  $X$  и  $Z$  перпендикулярные соответствующей оси вертикальные плоскости симметрии модели.

Нагружение моделей производилось путем задания перемещений узлам верхнего торца модели в направлении, обратном направлению оси  $Z$ . При всех загрузениях перемещения верхнего торца принималось равным  $-0,015$  мм, что соответствует средней относительной деформации модели 1 %.

По всем трем моделям были выполнены вариантные расчеты, в которых неизменным принимались следующие параметры: модуль упругости матрицы  $E_{mat} = 30$  ГПа; коэффициенты Пуассона крупного заполнителя и матрицы  $\mu_{agr} = \mu_{mat} = 0,2$ . При расчетах каждой из моделей варьировался параметр  $p = \frac{E_{agr}}{E_{mat}}$ .

По результатам расчетов помимо картин распределения главных сжимающих напряжений получены суммарные реакции  $N_{tot}$  связей по нижнему и верхнему торцу модели в вертикальном направлении. По величине этой реакции и известной площади модели  $A_{tot}$  определены средние напряжения в модели по формуле

$$\sigma_{tot} = \frac{N_{tot}}{A_{tot}} \tag{3}$$

Кроме того, отдельно определены суммарные реакции  $N_{agr}$  и  $N_{mat}$  в связях по верхнему торцу модели, расположенных соответственно в пределах крупного заполнителя и

матрицы. По этим реакциям при известных площадях крупного заполнителя  $A_{agr}$  и матрицы  $A_{mat}$  по верхнему торцу модели были определены средние напряжения в крупном заполнителе и матрице в этом сечении по формулам

$$\begin{aligned} \sigma_{agr} &= \frac{N_{agr}}{A_{agr}} \\ \sigma_{mat} &= \frac{N_{mat}}{A_{mat}} \end{aligned} \tag{4}$$

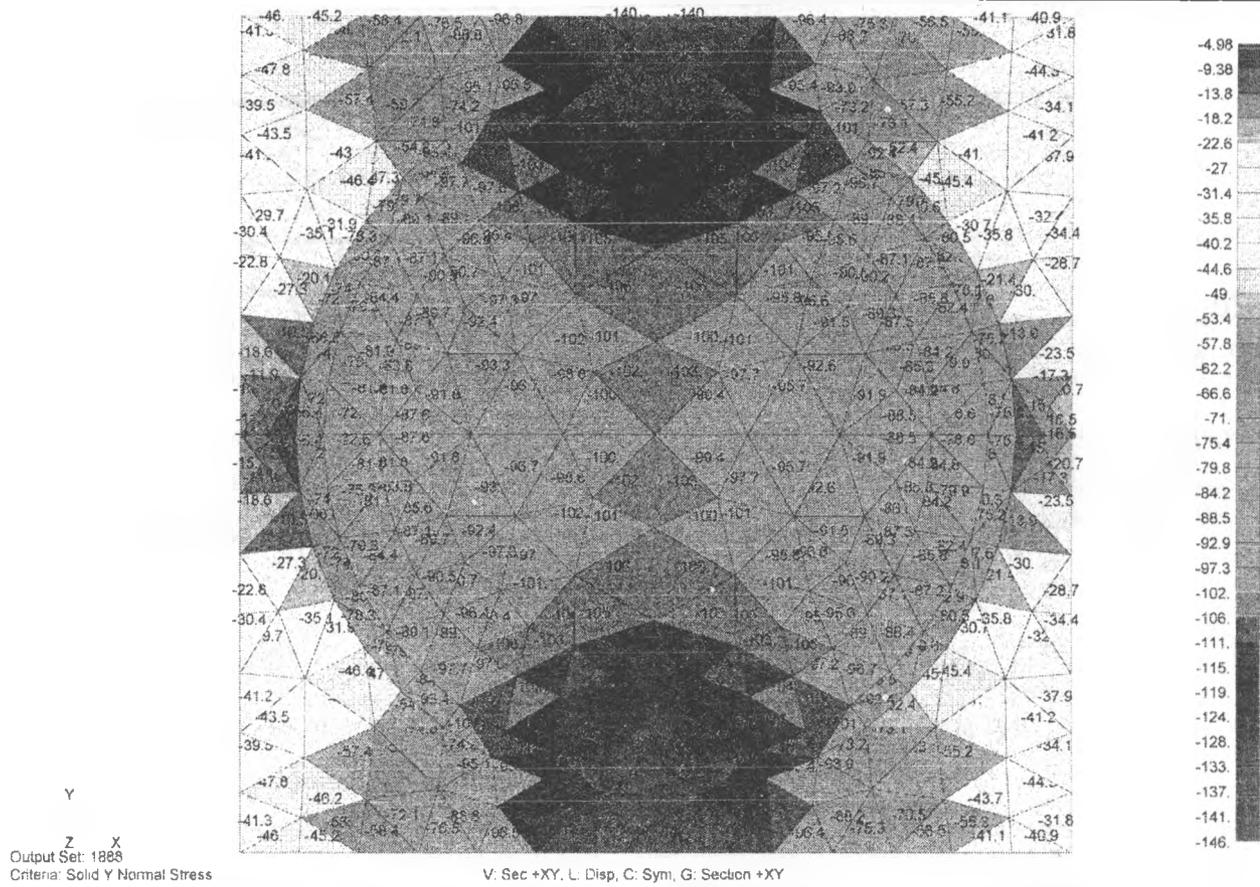
### АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОДЕЛЕЙ

Как показывает анализ полученных картин распределения напряжений в модели, при величине относительного параметра  $p$  более 1 наблюдается концентрация напряжений в матрице и заполнителе вдоль линий, соединяющих центры шаров в направлении приложенного перемещения (рис. 2 и 3). Причем концентрация напряжений возрастает с увеличением  $p$  при

любом из принятых уровней отношения  $\alpha = \frac{\delta_{mat}}{r_{agr}}$ .

По полученным при расчете эпюрам распределения напряжений вдоль центральной линии были определены напряжения  $\sigma_{c1}$  в крупном заполнителе и матрице на их контакте, а также напряжения  $\sigma_{c2}$  в матрице в точке, расположенной посередине между шарами. Анализ величин  $\sigma_{c1}$  и  $\sigma_{c2}$  позволил сделать вывод о том, что они различаются в пределах 4 % и для дальнейшего анализа можно принять их среднее значение  $\sigma_c = \frac{\sigma_{c1} + \sigma_{c2}}{2}$ , приведенное в таблице 2.

a



b

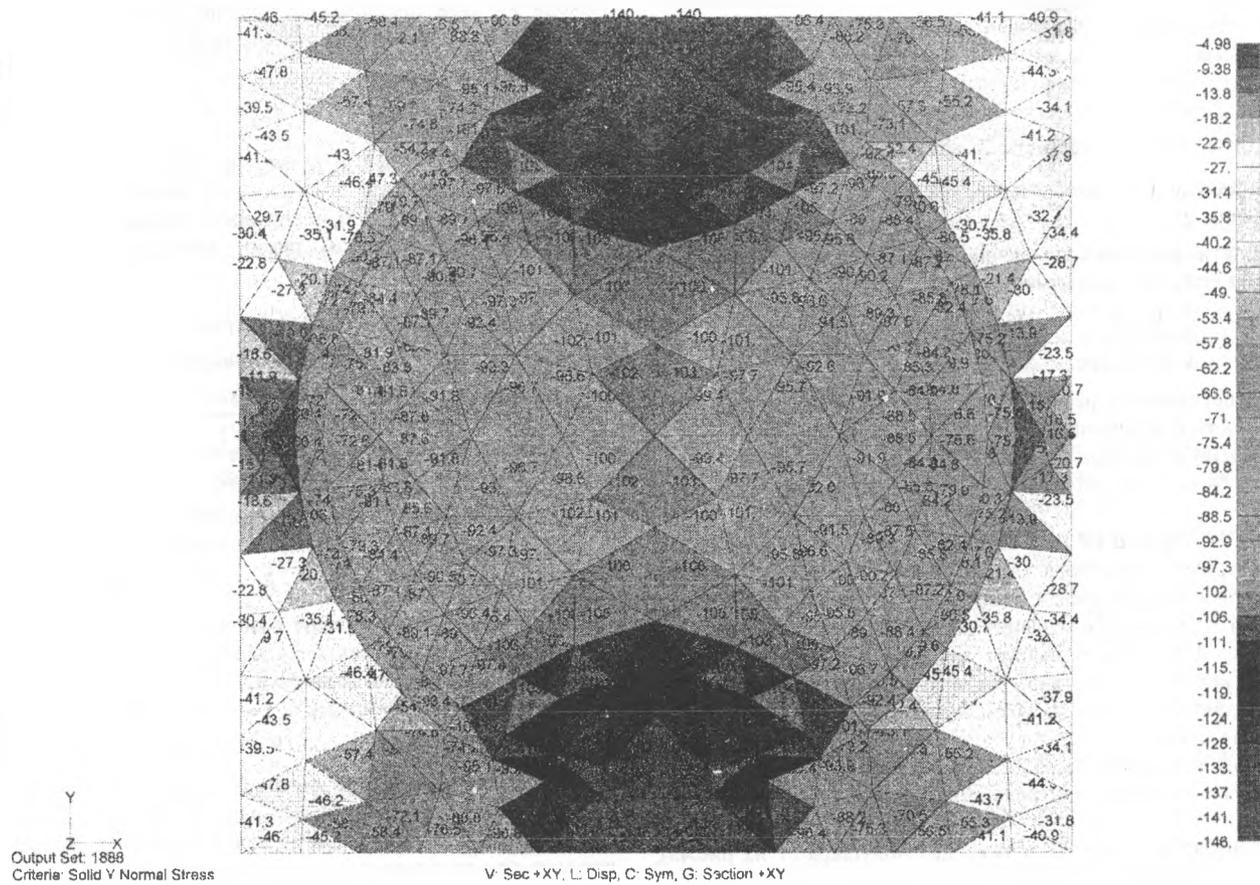


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений  $\sigma_y$  в центральном сечении КЭ-модели бетона:  
a — шифр расчета — 325-50-8; a — 325-50-2

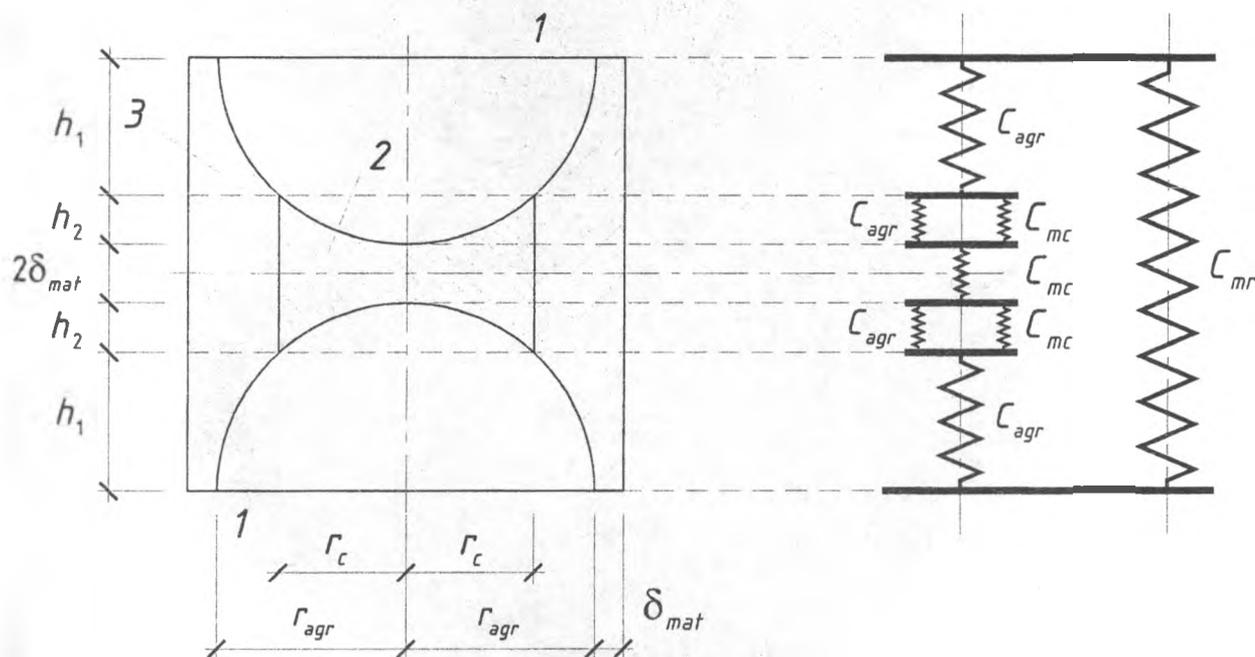


Рис. 4. Основные геометрические параметры стержневой модели структуры бетона (а) и идеализированная модель (б)

Исходя из величин напряжений  $\sigma_c$  и  $\sigma_{agr}$ , была вычислена величина коэффициента концентрации напряжений

$$\omega_{cf} = \frac{\sigma_c}{\sigma_{agr}}$$

Как следует из таблицы 2, величина коэффициента  $\omega_{cf}$  вырастает до 1,79 при наименьшем уровне  $\alpha$  и наибольшем значении  $p$ .

Для аналитического вычисления коэффициента концентрации получена зависимость

$$\omega_{ca} = 1 + \left( \frac{2,5}{1 + 2,7\alpha} - 1 \right) \cdot (0,4411 - 0,0285 \ln p) \cdot \ln p. (5)$$

Сопоставление результатов вычислений по указанной зависимости с величинами, полученными при расчете моделей, приведено в таблице 2. Наибольшее расхождение не превышает 3%, что следует считать вполне удовлетворительным.

#### СТЕРЖНЕВАЯ РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ БЕТОНА

Впервые полученная аналитическая зависимость для определения коэффициента концентрации напряжений представляет возможность создания стержневой расчетной модели, в которой на стадии выбора жесткостей элементов можно учесть неравномерность распределения напряжений.

Рассмотрим один из возможных вариантов такой структурной модели.

Модель состоит из работающих параллельно двух стержневых элементов — центрального ядра и наружной оболочки (рис. 4).

Центральное ядро содержит два полушара (1 на рис.4а), имитирующих крупный заполнитель и соединяющий эти элементы стержень цилиндрического сечения (2 на рис.4а), имитирующий матрицу. Радиус шарового элемента равен радиусу крупного заполнителя. Радиус стержня цилиндрического сечения определяется из условия, что действующее на основа-

ние полушара усилие полностью передается на этот стержень. Исходя из этой предпосылки, можно получить следующее уравнение для определения радиуса центрального стержня

$$r_c = \frac{r_{agr}}{\sqrt{\omega_c}} (6)$$

Наружная оболочка (3 на рис.4а) представляет собой остальную часть матрицы в виде полого цилиндра с раззенкованными по сферической поверхности отверстиями. Наружный диаметр оболочки равен структурному размеру  $l = r_{agr} + \delta_{mat}$ .

Периметр цилиндрического стержня касается поверхности шара на расстоянии  $h_1$  от основания полушара. Это расстояние можно определить по формуле

$$h_1 = r_{agr} \sqrt{1 - \frac{1}{\omega_c}} (7)$$

Цилиндрический стержень соединяется с полушаром на поверхности шара. В связи с этим на расстоянии  $z$  от основания полушара (при условии  $h_1 < z < r_{agr}$ ) в сечении центрального элемента попадают одновременно круговое сечение шара и кольцевое сечение стержня, т.е. в этих пределах центрального элемента заполнитель и матрица работают одновременно. Длина стержня матрицы по оси равна  $l_c = l_z - 2r_{agr}$ , а по образующей цилиндра —  $l_c = l_z - 2h_1$ .

Предполагаем, что оба элемента (центральный и оболочка) стержневой модели работают параллельно на центральное сжатие. В этом случае можно отдельно вычислить укорочения каждого из элементов под действием единичных сил приложенных к ним, т.е. определить коэффициенты податливости этих элементов. Затем из условия равенства абсолютных укорочений элементов модели можно определить долю общей нагрузки на модель, воспринимаемой каждым из элементов.

После этого можно подсчитать величину абсолютного перемещения элементов.

Выполненные расчеты показали, что в целом такая модель правильно отражает влияние основных параметров на перемещения элементов. В то же время наблюдается некоторое расхождение расчетных значений, полученных на стержневой модели на конечно-элементной модели. Расхождение увеличивается с уменьшением параметра  $\alpha$  и увеличением параметра  $\rho$ , но не превышают 5-8 %.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рак Н.А. К построению методики расчета железобетонных конструкций с учетом неоднородности структуры бетона // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2001. – № 1(7) – С. 90-99.
2. Рак Н.А. Расчет нормальных сечений железобетонных элементов с учетом структурной неоднородности бетона // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сборник трудов VI Международного научно-

методического семинара. – Мн.: УП «Технопринт», 2001 – С. 291-302.

3. Ахвердов И.Н., Смольский А.Е., Сточелас В.В. Моделирование напряженного состояния бетона и железобетона. – Минск: Наука и техника, 1973. – 232 с.
4. Nielsen A. and Monteiro P. Concrete: a three phase material // Cement and Concrete Research. – 1993. – Vol. 23. – P. 147-151.
5. Baker A. A criterion of concrete failure // Proceedings of Institution of Civil Engineers. – 1970. – № 45. – P. 269-278.
6. Reinius E. — Betong. – 1955. – Vol. 40. – № 1.
7. Малашкин Ю.Н. Структурная модель твердого тела и оценка с ее помощью прочностных характеристик бетона // Строительная механика и расчет сооружений. – 1989. – № 2. — С. 24-28.
8. Холмянский М.М. Бетон и железобетон: Деформативность и прочность. – М.: Стройиздат, 1997. – 576 с.
9. Орехов В.Г., Зерцалов М.Г. Механика разрушения инженерных сооружений и горных массивов. – М.: АСВ, 1999. — 328 с.

УДК 624.012.44

Рак Н.А., Аль-Арики Н.

## КОНТАКТНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТЯЖЕЛОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

### ВВЕДЕНИЕ

Выполненный в работе [1] анализ результатов исследований бетона при местном сжатии показал, что в большинстве исследований изучалась только прочность бетона. Лишь в отдельных исследованиях было уделено внимание деформациям бетона при местном сжатии [2-12]. Причем эти исследования можно условно разделить на две группы.

В исследованиях [2,3], относящихся к первой группе, изучались относительные деформации бетона в области действия сжимающих напряжений в местах расположения несовершенных шарниров. А.С. Курылло и В.Г. Кваша [2] изучали деформации бетона в зоне расположения несовершенного шарнира железобетонной арки. Модели арок сечением 20×15 см были изготовлены из бетона с призменной прочностью 44 МПа. Несовершенные шарниры образовывались путем уменьшения сечения арки до 5×15 см. В опытах при напряжениях в бетоне 136 МПа (более трех раз превышающих его призменную прочность) относительные деформации бетона достигли  $11,7 \times 10^{-3}$ , что превышает предельную сжимаемость бетона при осевом сжатии более чем в пять раз. При этом видимых признаков разрушения обнаружено не было. Анализ продольных и поперечных деформаций бетона показал, что бетон в шарнире работает в условиях всестороннего сжатия.

А. Griezic, W. Cook, D. Mitchell [3] исследовали опытные образцы несовершенных шарниров колонн в зонах их примыкания к фундаментам. Опытные образцы были изготовлены из бетонов с цилиндрической прочностью 35..39 МПа с одно-сторонней и двусторонней подрезкой сечения. При испытаниях фиксировались относительные деформации бетона в сечении с шарниром, в том числе на ниспадающей ветви диаграммы деформирования. Результаты испытаний показали, что напряжения в бетоне шарнира при разрушении значительно превышают призменную прочность бетона, а относительные деформации бетона в шарнирах с двусторонней подрезкой достигают  $20 \times 10^{-3}$ , что превышает предельные относительные

деформации бетона при осевом сжатии в 8..10 раз. На основании исследований разработаны зависимости для расчета прочности и деформаций бетона в области шарнира.

В исследованиях [4-12], относящихся ко второй группе, изучались так называемые контактные деформации, под которыми принято понимать перемещения жесткого штампа относительно некоторой условной плоскости, расположенной на удалении от плоскости контакта равном глубине активной зоны деформаций.

В.М. Поздников [4] исследовал контактные деформации при кратковременном местном сжатии круглыми штампами фундаментных блоков, изготовленных из бетонов с прочностью на сжатие не более 25 МПа. При испытаниях измерялись полные контактные деформации штампов по отношению к точкам нагружаемой плоскости блока, расположенным на расстоянии, которое значительно превышает размеры штампа.

Ю.В. Коваль под руководством И.А. Русинова [5-8] исследовал контактные деформации при концентричном кратковременном и длительном местном сжатии на призмах и кубах, изготовленных из бетонов различной структуры (бетон на фосфорном щебне с прочностью на сжатие 40 МПа, тяжелый трехкомпонентный бетон с прочностью на сжатие 35...58 МПа). Кроме того, в небольшом количестве исследовались контактные деформации на кубах, изготовленных из мелкозернистого бетона с прочностью на сжатие 67 МПа и тяжелого трехкомпонентного бетона с прочностью на сжатие 73...81 МПа. Поперечные размеры образцов 100×100 мм, 150×150 мм и 200×200 мм. Размеры штампов 50×50 мм, 75×75 мм, 92×92 мм. При испытаниях измерялись контактные деформации штампов по отношению к точкам, расположенным по периметру нагружаемой плоскости образца, а также по отношению к точкам этой плоскости, расположенным непосредственно около граней штампа. Измерения деформаций показали, что полная контактная деформация складывается из двух

Аль-Арики *Набилъ*. Аспирант каф. железобетонных и каменных конструкций Белорусского национального технического университета.

Беларусь, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.