

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

БУДІВЕЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО



№ 63/1/2017

Міжвідомчий науково-технічний збірник (технічні науки)

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ (КНУБА)

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО
ВИРОБНИЦТВА (НДІБВ)

АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ (АБУ)

ПРЕДСТВАНІЦТВО "ПОЛЬСЬКА АКАДЕМІЯ НАУК (PAN)

II МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ

"ЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В БУДІВНИЦТВІ"

6-7 квітня 2017
www.knuba.edu.ua



Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 21921-11821ПР від 23.03.2016 р.
Наказ Міністерства освіти і науки України про реєстрацію фахового видання
№ 515 від 16.05.2016 (технічні науки) та № 1222 від 07.10.2016 (економічні)

Міжвідомчий науково-технічний збірник видається з 1965 року.

Співзасновниками є: ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва»
(ДП «НДІБВ») та Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА).

Розглянуто питання становлення саморегулювання в будівництві, економічної ефективності енергозберігаючих заходів у будівництві, механізм оптимізації діяльності будівельних підприємств, удосконалення технології та організації виконання робіт у промисловому і житловому будівництві, висвітлено нові напрями у технології будівельних процесів.

Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Редакційна колегія:

д.т.н., с.н.с. Галінський О.М. – головний редактор;

к.е.н., доц. Вахович І.В. – заступник головного редактора;

к.е.н., с.н.с. Молодід О.О. – секретар;

д.т.н., проф. Білоконь А.І. (Україна);

д.т.н., проф. Вечеров В.Т. (Україна);

д.т.н., проф. Городецький О.С. (Україна);

д.т.н., проф. Долотов О.В. (США);

д.т.н., проф. Дорофєєв В.С. (Україна);

д.т.н., проф. Клованич С.Ф. (Польща);

д.т.н., проф. Кравчуновська Т.С. (Україна);

д.т.н., проф. Менейлюк О.І. (Україна);

д.т.н., проф. Михайленко В.М. (Україна);

д.т.н., проф. Млодецький В.Р. (Україна);

д.т.н., проф. Осипов О.Ф. (Україна);

д.т.н., проф. Пилипенко В.М. (Білорусь);

д.т.н., проф. Плоский В.О. (Україна);

докт. Радей Карел (Чехія);

д.т.н., проф. Радкевич А.В. (Україна);

д.т.н., проф. Савйовський В.В. (Україна);

д.т.н., проф. Тугай О.А. (Україна);

д.т.н., проф. Тонкачєєв Г.М. (Україна);

Літературний редактор Колесник Н.В.

д.т.н., проф. Шатов С.В. (Україна);

д.т.н., проф. Шумаков І.В. (Україна);

д.т.н., проф. Файвусович О.С. (Україна);

д.е.н., проф. Бондар О.А. (Україна);

д.е.н., проф. Бондаренко Є.В. (Україна);

д.е.н., проф. Дмитренко Г.А. (Україна);

д.е.н., проф. Куліков П.М. (Україна);

д.е.н., проф. Лакатош Янош (Угорщина);

д.е.н., проф. Лич В.М. (Україна);

д.е.н., проф. Сломски Войтех (Словаччина);

д.е.н., проф. Сиройч Здислав (Польща);

д.е.н., проф. Сухоруков А.І. (Україна);

д.е.н., проф. Рижаківа Г.М. (Україна);

д.е.н., доц. Стеценко С.П. (Україна);

д.е.н., проф. Сорокіна Л.В. (Україна);

д.е.н., проф. Трейковські Маріан (Македонія);

д.е.н., проф. Фингер Матіас (Швейцарія);

к.е.н. Заблоцький Є.Й. (Україна).

Комп'ютерна верстка Молодід О.О.

Мова видання: українська і російська.

Затверджено до друку Вченою радою інституту

протокол № 2 від 28.03.2017 р. №63/1 (технічні науки)

Адреса редколегії збірника:

03110, МСП, Київ, проспект Лобановського (Червонозоряний), 51. Тел. 248-48-68

E-mail: conf-ndibv@ukr.net, vistavca@ukr.net

web: <http://ndibv.kiev.ua/>

Редакція не завжди поділяє думку та погляди автора. Відповідальність за достовірність фактів, власних імен, географічних назв, цитат, цифр та інших відомостей несуть автори публікацій.

Відповідно до Закону України «Про авторське право та суміжні права» при використанні наукових ідей та матеріалів цього збірника посилання на авторів і видання є обов'язковим.

УДК 666.974

*Драпалюк М.В., к.т.н., доц.,
ОДАБА, м. Одеса***НЕОДНОРОДНОСТЬ БЕТОНА И ЕЁ
ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Установлено, что растягивающие напряжения вызывают развитие микротрещин на поверхности еще до приложения внешней нагрузки. Определены максимальные растягивающие напряжения, которые распространяются по всей поверхности и предопределяют появление связанных трещин сцепления вдоль всей поверхности раздела.

Ключевые слова: микротрещины, усадочные напряжения, цементная матрица.

Постановка проблемы. Выполнение требований современных документов по проектированию бетона и конструкций, предназначенных для работы в агрессивных средах, обеспечивает надежность в течение длительных сроков. При этом нормы устанавливаются исходя из позиций исключения возможности повреждения бетона и арматуры, выбирая критические значения агрессивных воздействий для бетона определенного вида таким образом, чтобы не допустить его повреждения. В процессе поиска путей снижения дефектности структуры бетона пересмотрено традиционно сложившееся представление о том, что неоднородность материала относится только к его отрицательным свойствам [1]. Этой точке зрения во многом способствовало отождествление работы цементного камня и бетона под нагрузкой с другими хрупкими материалами.

Одним из таких свойств является способность отдельных элементов структуры бетона тормозить развитие трещин, что, однако, возможно при определенных условиях.

Анализ последних исследований. В современной научной литературе описываются результаты исследований поведения бетона при действии однократного и многократного динамического нагружения. Среди них следует выделить работы С.В. Александровского, Э.И. Батяновского, Ю.М. Баженова, А.А. Гвоздева, Б. В. Гусева, И.М. Грушко, С.С. Гордона, П.Г. Комохова, И.Н. Пискунова, В.И. Сытника, Я. Танигава, М.А. Шалимо, аналогичные исследования отражены в работах К. Кацуми, А. Келли, Л. Нильссена, Дж. Такеда и др.

Сложность описания поведения и разрушения бетона при ударных нагрузках определяется отсутствием теории динамической прочности не только бетона, но и других неоднородных хрупких пористых материалов [2].

Формулировка цели. Целью работы является разработка технологии бетона такого формирования, чтобы обеспечить повышенную прочность при растяжении, трещиностойкости, ударной стойкости и долговечности за счет оптимизации структуры бетона путем введения в состав цементной системы маложестких химически активных компонентов демпфирующего действия.

Изложение основного материала. Рассматривая структуру бетона, можно обнаружить следующую закономерность – цементная матрица претерпевает усадку, линейная величина которой приблизительно пропорциональна объемной концентрации цементной составляющей в матрице, что в условиях ограничения усадочных деформаций со стороны жестких заполнителей приводит к развитию значительных внутренних напряжений [3].

Для изучения распределений внутренних напряжений усадочной природы в структуре бетона принята плоская (двумерная) модель (рис. 1). Круглые включения из затвердевшего чистого эпоксидного полимера расположены по квадратной сетке и помещены в матрицу из пластифицированной эпоксидной смолы. Модули упругости включения и матрицы выбраны таким образом, чтобы их отношение приблизительно

равнялось отношению модулей упругости

заполнителя и цементной матрицы.

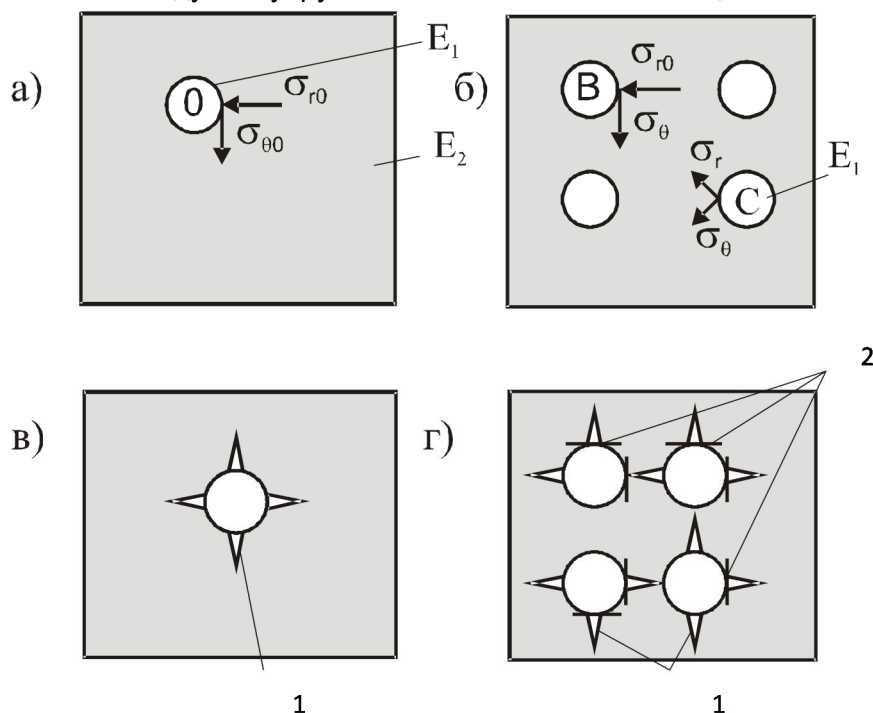


Рис. 1. Характер напряженного состояния, возникающего вследствие усадки матрицы в точках О, В, С структурных ячеек, содержащих одиночное включение (а) и поле взаимодействующих включений (б); картины трещин от усадочных напряжений в соответствующих структурных ячейках (в, г): 1–радиальные трещины в цементной матрице; 2– трещины отрыва

Растягивающие напряжения, развивающиеся на поверхности раздела между заполнителем и цементной матрицей, вызывают развитие микротрещин на этой поверхности еще до приложения внешней нагрузки (см. рис. 1).

Максимальные же растягивающие напряжения на поверхности раздела действуют по диагональной межцентровой линии, распространяются по всей этой поверхности и предопределяют появление здесь связанных трещин сцепления вдоль всей поверхности раздела.

Расчет усадочных напряжений (табл. 1) выполнен с учетом результатов исследований линейной усадки и модуля упругости цементной матрицы твердеющего бетона с $V/C=0,35$. Для наиболее достоверной оценки рассматриваемого фактора проведены эксперименты по прямому измерению усадочных напряжений с помощью кольцевых датчиков давления.

Эксперименты по измерению усадочных напряжений проводили на образцах-кубах цементного камня и

цементно-песчаного раствора размерами $5 \times 5 \times 5$ и $7 \times 7 \times 7$ см, в которые заформовывались датчики давления.

При этом ставились две задачи: получение данных об абсолютных уровнях усадочных напряжений и исследование влияния жесткости заполнителей на значения напряжений.

Указанный диапазон измерения геометрических параметров металлических колец позволил сконструировать датчики с приведенным модулем упругости в диапазоне $8000 \dots 127600$ МПа, что охватывает диапазон изменения модуля упругости искусственных пористых заполнителей, плотных горных пород и клинкерных фаз.

Результаты экспериментов показали, что нарастание усадочных напряжений сжатия на границе с заполнителем во времени происходит по экспоненциальному закону (рис. 2), при этом уровень усадочных напряжений зависит в основном от двух параметров: концентрации цементного камня в матрице и жесткости (модуля упругости) заполнителя.

Программа эксперимента охватывала

несколько матриц: цементный камень с В/Ц=0,25...0,50; раствор на кварцевом и керамзитовом песках с различной концентрацией цементного камня. Варьировались условия хранения образцов, при этом продолжительность выдержки образцов-кубов в воде до начала сушки в естественных условиях принималось 0, 2, 7 и 28 сут.

Рассчитанные значения усадочных напряжений в сочетании с известными экспериментальными данными по релаксации напряжений цементного камня и бетона, а также полученные данные по прямому измерению усадочных напряжений

позволили провести следующую оценку влияния этого фактора на физико-механические характеристики бетона.

1. В бетоне (цементно-песчаном растворе) на плотных заполнителях вследствие усадки цементной матрицы развиваются внутренние напряжения двух типов: радиальные напряжения, нормальные к поверхности заполнителя, и тангенциальные напряжения растяжения в цементной матрице. В отличие от тангенциальных, радиальные напряжения в зависимости от концентрации плотных заполнителей могут быть сжимающие или растягивающие [4].

Таблица 1

Расчет радиальных усадочных напряжений на границе с заполнителем

Модуль упругости заполнителей, МПа	Модуль упругости цементной матрицы, МПа	Средняя линейная деформация усадки цементной матрицы	Радиальные усадочные напряжения, МПа
В возрасте 28 сут			
8000	$15 \cdot 10^3$	$12,5 \cdot 10^{-4}$	10,2
53860			24,6
В возрасте 90 сут			
8000	$16,5 \cdot 10^3$	$20,1 \cdot 10^{-4}$	18,4
53860			42,7

Примечание. Модули упругости заполнителей соответствуют модулям упругости керамзитового и кварцевого песков

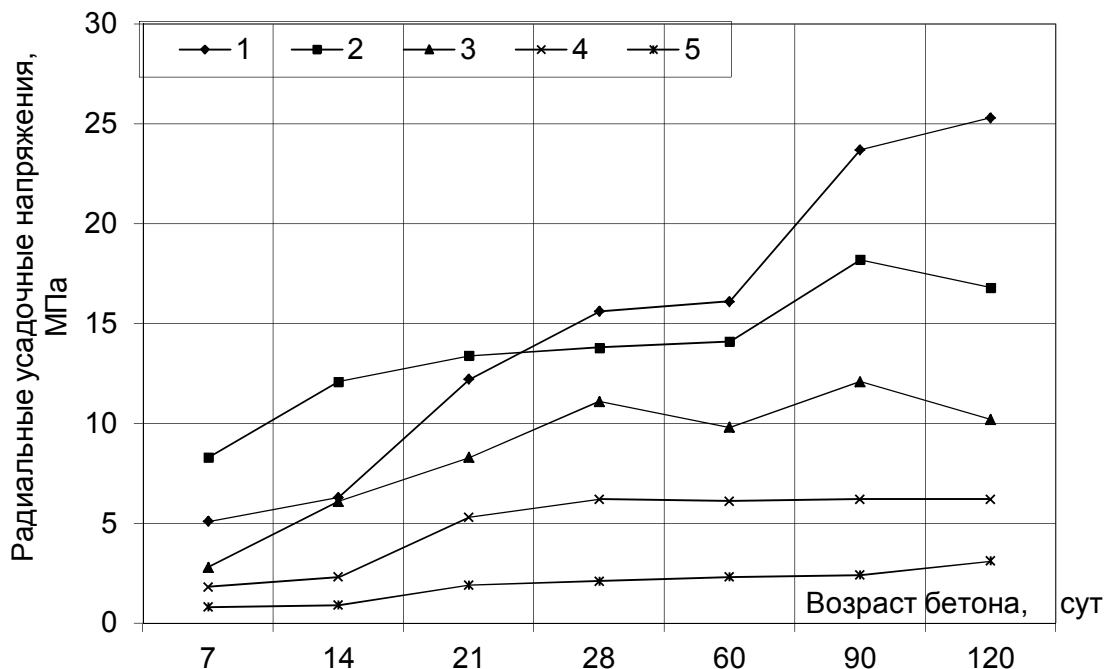


Рис. 2 Нарастание усадочных напряжений сжатия на границе с включением: 1 – модуль упругости включения 126000 МПа; 2 – то же, 88000 МПа; 3 – то же, 53860 МПа; 4 – 24200 МПа; 5 – то же, 7970 МПа

2. При низькому насиченні заповнителем (до 0,3...0,4 по відносному об'єму) найбільш небезпечні за своєю природою усадочні напруження відрива на границі з заповнителем відсутні. Слід очікувати, що в цьому інтервалі вмісту заповнителя міцність зв'язу заповнителя з цементною матрицею буде мало впливати на міцність і довговічність розчину і бетону.

3. В області технологічно ефективних (по витраті цементу) насичень 0,6...0,7 в структурі твердуючого розчину на щільному піску розвиваються небезпечні за величиною напруження відрива. Розрахунки, виконані з урахування розвитку лінійної усадки і зростання модуля пружності цементної матриці в процесі твердіння, а також фактора релаксації напружень, показали, що рівень напружень відрива на границі "заповнитель – цементна матриця" в області насичень 0,6...0,7 становить 1...6 МПа, що перевищує міцність зв'язу цементної матриці і заповнителя.

4. Виконані розрахунки усадочних напружень в твердуючому піщано-цементному розчині при частичній заміні кварцевого піску керамзитовим, що має модуль пружності близько 15000 МПа, показали, що радіальні напруження стиснення і тангенціальні напруження розтягнення зменшуються в 2...2,5 рази, радіальні напруження розтягнення (відрива) - в 5...7 раз.

Висновки. Щільні заповнителі важкого бетону, в т.ч. кварцевий пісок, не мають ідеальної сумісності з цементною матрицею в силу своєї жорсткості (модуль пружності в межах 40000...70700 МПа), що призводить до значущих усадочних напружень в процесі твердіння і, як результат, виникненню і розвитку тріщин. Зниження модуля пружності заповнителя повинно знаходитися в межах модуля пружності цементної матриці, так як значуще зниження жорсткості заповнителя призведе до перевантаження цементної складової і втрати міцності при стисненні.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников; – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
2. Баженов Ю.М. Высококачественный тонкозернистый бетон / Ю.М. Баженов // Строительные материалы. – 2000. – № 2. – С. 24-25.
3. Танигава Я. Механизм развития трещин и разрушения бетона как композиционного материала: / Я. Танигава, Е. Хосака; пер. с англ. – 1987. – 90 с. (ВЦП № 89/70795).
4. Соломатов В.И. Ресурсосберегающая технология бетона / В.И. Соломатов, М.К. Тахиров, В.К. Ханин - Ташкент: Мехнат, 1990. – 239 с.

REFERENCES:

1. Bajenow U.M., Demuanov V.S., Kalachnikow V.I. (2006). Modified high-quality concrete: [scientific. Izd-e]. Moscow, Russia : Publishing house ACB, 368.
2. Bajenow U.M. (2000). High-quality fine grained concrete. Construction Materials №2
3. Tanigava Y., Chosaka E. (1987). Mechanism of development of cracks and destruction of concrete as a composite material. Per. from engl., 90.
4. Solomatov V.I., Tachirov V.K. (1990). Tachkent, Uzbekistan, 239.

АНОТАЦІЯ

Встановлено, що розтягуючі напруження викликають розвиток мікротріщин на поверхні ще до додавання зовнішнього навантаження. Визначено максимальні розтягуючі напруження, які поширюються по всій поверхні і зумовлюють появу пов'язаних тріщин зчеплення уздовж всієї поверхні розділу.

Ключові слова: мікротріщини, усадкові напруження, цементна матриця.

ANNOTATION

It is established that tensile stresses cause the development of microcracks on the surface even before application of an external load. The maximum tensile stresses are determined that propagate over the entire surface and predetermine the appearance of bonded bonding cracks along the entire interface.

Considering the structure of concrete, we can find the following regularity: the cement matrix undergoes shrinkage, the linear value of which is approximately proportional to the volume concentration of the cement component in the matrix, which, under conditions of limiting shrinkage on the side of rigid aggregates, leads to the development of considerable internal stresses.

In concrete (cement-sand mortar) on dense aggregates due to the shrinkage of the cement matrix, internal stresses of two types develop: radial stresses normal to the surface of the aggregate, and tangential tensile stresses in the cement matrix. Unlike tangential stresses, radial stresses, depending on the concentration of dense aggregates, can be compressive or tensile.

In the field of technologically effective saturation of 0.6 ... 0.7 in the structure of the hardening solution on dense sand, dangerous tear stresses develop. Calculations performed taking into account the development of linear shrinkage and growth of the modulus of elasticity of the cement matrix during the hardening process, as well as the stress relaxation factor, have shown that the level of tear stress at the "filler-cement matrix" border in the saturation range 0.6 ... 0.7 is 1 ... 6 MPa, which exceeds the bond strength of the cement matrix and aggregate.

At low saturation with aggregate (up to 0,3 ... 0,4 in relative volume), the shrinkage stresses of detachment at the border with the filler, which are most dangerous by their nature, are absent. It should be expected that in this range of aggregate content, the strength of the bonding of the aggregate to the cement matrix will have little effect on the strength and durability of the mortar and concrete.

Dense aggregates of heavy concrete, incl. Quartz sand, do not have perfect compatibility with the cement matrix due to its rigidity (modulus of elasticity within 40,000 ... 70,700 MPa), resulting in significant shrinkage stresses during hardening and, as a result, the appearance and development of cracks. Reduction of the modulus of elasticity of the filler should be within the elasticity modulus of the cement matrix, since a significant reduction in the rigidity of the aggregate will lead to an overload of the cement component and loss of compressive strength.

Keywords: microcracks, shrinkage stresses, cement matrix.

