



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2011, ТОМ 7, № 1, 19–29

УДК 624.012.45

ДО ВРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ В ОБ'ЄМІ ВЕЛИКОРОЗМІРНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТРИЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В. І. Веретенников

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: veretennikov_vitaliy@mail.ru

Отримана 28 лютого 2011; прийнята 25 березня 2011.

Анотація. На підставі аналізу з вивчення неоднорідності властивостей бетону в великорозмірних елементах запропонована гіпотеза про розподіл властивостей бетону в межах окремого ярусу. Запропоновано і обґрунтовано, в тому числі експериментально, найменший розмір призми-випила з великорозмірних елементів для дослідного встановлення залежності $\sigma - \epsilon$ в окремих об'ємах великорозмірних елементів. На підставі ряду припущень запропоновано підхід до вирішення завдання щодо встановлення кількісних значень міцнісних та деформативних властивостей бетону в об'ємі великорозмірного елемента.

Ключові слова: великорозмірні елементи, неоднорідність властивостей бетону.

К УЧЕТУ НЕОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ БЕТОНА ПО ОБЪЕМУ КРУПНОРАЗМЕРНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. И. Веретенников

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: veretennikov_vitaliy@mail.ru

Получена 28 февраля 2011; принята 25 марта 2011.

Аннотация. На основании анализа по изучению неоднородности свойств бетона в крупноразмерных элементах предложена гипотеза о распределении свойств бетона в пределах отдельного яруса. Предложен и обоснован, в том числе экспериментально, наименьший размер призмы-выпила из крупноразмерных элементов для опытного установления зависимости $\sigma - \epsilon$ в отдельных объемах крупноразмерных элементов. На основании ряда предположений и допущений предложен подход к решению задачи по установлению количественных значений прочностных и деформативных свойств бетона по объему крупноразмерного элемента.

Ключевые слова: крупноразмерные элементы, неоднородность свойств бетона.

ON TAKING INTO CONSIDERATION THE HETEROGENEITY OF CONCRETE PROPERTIES IN THE VOLUME OF LARGE-SIZED VERTICAL BAR ELEMENTS

Veretennikov Vitaly

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: veretennikov_vitaliy@mail.ru

Received 28 February 2011; accepted 28 March 2011.

Abstract. Proceeding from the study of the heterogeneity of the properties of concrete in large-sized elements a hypothesis has been made about the distribution of concrete properties within a single layer of the volume. Suggested as well as experimentally substantiated was the minimum size of a prism sawn out from large-sized elements in order to experimentally determine the σ - ϵ relationship in separate volumes of large-sized concrete elements. On the basis of a number of assumptions an approach to solving the problem of determining quantitative values of strength and strain properties of concrete in the volume of a large-sized element has been proposed.

Keywords: large-sized elements, the heterogeneity of concrete properties.

Введение

При расчете бетонных и железобетонных конструкций по действующим нормам [12] принято считать, что по плоскости рассматриваемого сечения или по объему расчетные характеристики бетона не изменяются и назначаются на основании испытаний стандартных образцов-призм с размерами $0,15 \times 0,15 \times 0,60$ м. Однако опытами ряда исследователей установлено, что процесс изготовления, а затем и старения бетона сопровождается рядом явлений, оказывающих значительное влияние на распределение свойств бетона по объему изделий. Наиболее значимыми факторами, которые могут повлиять на распределение свойств бетона по объему конструкции, по мнению авторов [1–7], являются:

- расслоение бетонной смеси в процессе ее подачи, укладки и уплотнения;
- образование пустот под зернами крупного заполнителя в направлении укладки бетона, которые могут способствовать развитию или торможению развития микротрещин в зависимости от направления нагрузки при испытании или эксплуатации конструкций;
- условия твердения и влагообмена с окружающей средой, способствующие проявлению влажностной усадки, приводящей к объемному

напряженному состоянию в бетонных и железобетонных конструкциях.

В той или иной степени влияние отмеченных факторов, процессов и явлений описано в перечисленных выше работах, однако большинство исследований выполнялись с использованием отличающихся методик, форм и размеров образцов, приборов и т. д. и с различной целью.

Цель данной работы – предложить пути установления соотношений между характеристиками бетона в стандартных образцах и характерных объемах реальных конструкций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. На основании анализа проведенных ранее исследований сформулировать гипотезу о распределении характеристик свойств бетона по объему;
2. Установить наименьший объем бетона для испытания до разрушения, гарантирующий повторение свойств в конструкции и позволяющий установить соотношения характеристик свойств бетона в стандартном образце $0,15 \times 0,15 \times 0,60$ м с характеристиками бетона в характерных объемах крупноразмерных конструкций;
3. Определить теоретические пути установления характеристик неоднородности свойств в

характерных частях крупноразмерных конструкций, оговоренных в п. 2.

Формирование гипотезы о распределении свойств бетона по объему крупноразмерных элементов

Для решения поставленных задач проведем анализ изложенных в начале работы факторов. Первый из них обозначен как расслоение бетонной смеси в процессе укладки и уплотнения бетона при изготовлении конструкций. При установлении значимости этого фактора отдельно следует рассматривать процессы изготовления сборных и монолитных конструкций. При изготовлении сборных конструкций процесс расслоения бетонной смеси происходит при ее уплотнении в пределах незначительной высоты, т. к. вертикальные конструкции, например, колонны, изготавливаются в горизонтальном положении. Неоднородность бетона, возникающую в процессе изготовления железобетонных конструкций в заводских условиях, исследовали [1, 14, 15]. Ими было установлено, что даже при небольшой высоте слоя при бетонировании происходит перемещение зерен крупного заполнителя в направлении уплотнения. За счет этого в нижних при бетонировании слоях конструкции упаковка зерен становится более плотной.

Опыты В. И. Корсуна и Ю. Ю. Калмыкова [3, 4], в которых исследовалась неоднородность свойств бетона по объему изготовленных в горизонтальном положении образцов с размерами сечения $0,30 \times 0,30$ м показали, что в нижних при бетонировании слоях прочность и модуль упругих деформаций бетона на 30 % выше, чем у расположенных вблизи открытой при бетонировании грани. О значимости расслоения бетонной смеси при формировании свойств бетона свидетельствуют и наши опыты, проведенные на стандартных призмах $0,15 \times 0,15 \times 0,60$ м, изготовленных в соответствии с требованиями [8], а затем подверженных распиловке согласно схеме (рис. 1) и испытанных в соответствии с требованиями [8]. Данные, приведенные на рис. 1, подтверждают исследования [3, 4].

Кроме приведенных, следует отметить данные испытаний при исследовании степени неоднородности бетона в вертикальных конструкциях каркасно-монолитных зданий, проведенные

с использованием фрагментов конструкций, которые позволили установить, что в пределах нормальных сечений распределение характеристик механических свойств бетона симметрично относительно главных центральных осей, а по высоте, т. е. в направлении бетонирования фрагмента, существенно изменяются [6, 16].

Таким образом, имеющиеся опытные данные свидетельствуют о том, что в процессе изготовления конструкций происходит расслоение бетонной смеси в направлении укладки, что приводит к неоднородности свойств бетона. Следовательно, применительно к вертикальным элементам, исследования, связанные с оценкой неоднородности свойств, следует отдельно проводить для конструкций, у которых направление укладки бетонной смеси в последующем совпадает и для тех, у которых эти направления не совпадают с направлением внешней отжимающей силы. Как правило, первые – это монолитные вертикальные конструкции, а вторые – сборные, бетонированные горизонтально. В настоящей работе будут рассмотрены только элементы монолитных вертикальных конструкций.

В исследованиях [5] было установлено наличие пустот под зернами крупного заполнителя, которые могут способствовать развитию магистральных трещин или их «затормаживанию» в зависимости от направления действия нагрузки в стадии эксплуатации конструкций и направления укладки бетона. Так, если при изготовлении вертикальных конструкций в горизонтальном положении, пустоты, образующиеся под зернами крупного заполнителя, могут стать продолжением магистральной трещины и этим способствовать ее развитию, то при вертикальном изготовлении тех же конструкций пустоты под зернами крупного заполнителя могут затормаживать развитие трещин. Возможно, что именно этот фактор наряду с расслоением бетона является основным из приводящих к различиям в поведении под нагрузкой сборных и монолитных вертикальных конструкций зданий.

Третью группу составляют факторы, которые обусловлены возникновением внутрискрупульных напряжений и объемным напряженным состоянием конструкции, обусловленные усадкой цементного камня. После расплубливания внутренние и внешние объемы бетона находятся в различных условиях. Это различие прежде

всего связано с процессом удаления влаги из пор и капилляр. Экспериментально-теоретическими исследованиями [2, 3, 4, 8, 9] установлено, что влага удаляется с поверхностных слоев бетона глубиной до 0,10 м, а интенсивно – из слоя глубиной 0,03–0,05 м. При этом характер изменения влажности по глубине зависит от ряда факторов и мало изучен. Наиболее подробные сведения об изменениях не только влажности, но и

прочности в наружных слоях бетона приведены в работах [3, 4, 9] (рис. 2).

Авторы исследования [9] представили опытные данные, свидетельствующие о том, что толщина слоя бетона, с которого происходит удаление воды и изменяется прочность бетона, зависит от возраста распалубивания и водоцементного отношения при приготовлении бетонной смеси.

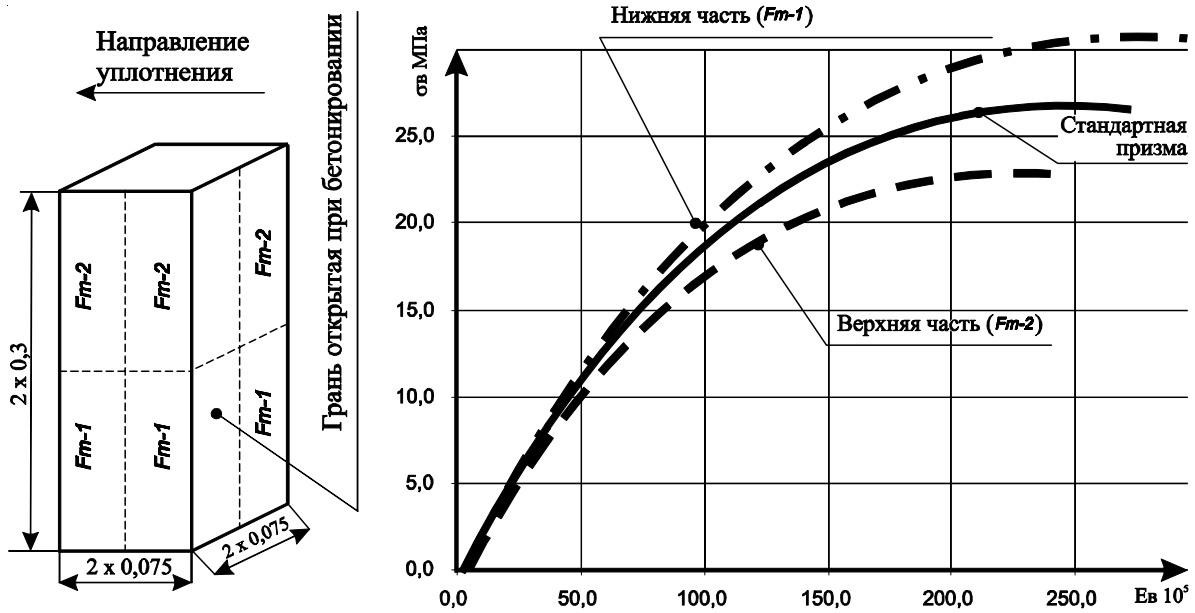


Рисунок 1. Схема распиловки и диаграмма деформирования бетона при сжатии нижних ($F_m - 1$) и верхних ($F_m - 2$) при бетонировании частей стандартной призмы.

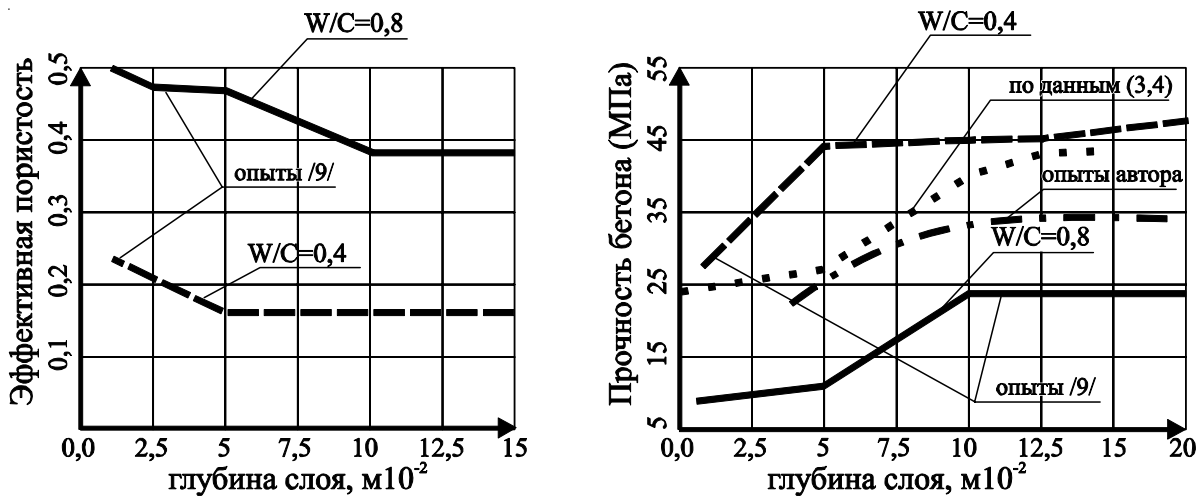


Рисунок 2. Изменение эффективной пористости и прочности бетона в зависимости от удаленности от поверхности конструкции.

На рис. 2 приведені дані для віку распалубивання, складаючого одним сутки. Ці дані свідчать про наявність в крупнорозмірних залізобетонних елементах ядра з ненарушеною структурою і зовнішнього шару, в межах якого виникають значущі внутрішні напруження, викликані усадкою цементного каменя і напруження, викликані неоднорідною усадкою бетону. Враховуючи деяку суперечливість існуючих експериментальних даних, вважається цілорозумним прийняти товщину зовнішнього шару конструкції, в межах якої процес структуроутворення бетону відбувається паралельно з виникненням внутрішніх напружень, викликаних усадкою цементного каменя, рівною середньому з отриманих в дослідженнях [2, 3, 4, 9, 13] значень, т. е. 0,075 м. В свою чергу цей шар по

товщині можна розділити на дві частини – зовнішню і внутрішню в залежності від умов висихання.

Необхідність такого підходу заключається в тому, що в бетону, розташованому ближче до зовнішнім граням, більш інтенсивно проходить процес усадки цементного каменя, а напруження, викликані неоднорідною усадкою, досягають тимчасового опору розтягненню, що обумовлює утворення тріщин [3, 4]. В внутрішній частині зовнішнього шару процес усадки носить затухаючий характер і на глибині від 0,05 до 0,10 м припиняється. Товщину зовнішньої і внутрішньої частин зовнішнього шару в першому наближенні можна прийняти рівними за величиною. Для простоти сприйняття зобразимо передбачуване розподілення властивостей бетону в залежності від ступеня порушення структури в вигляді схеми (рис. 3).

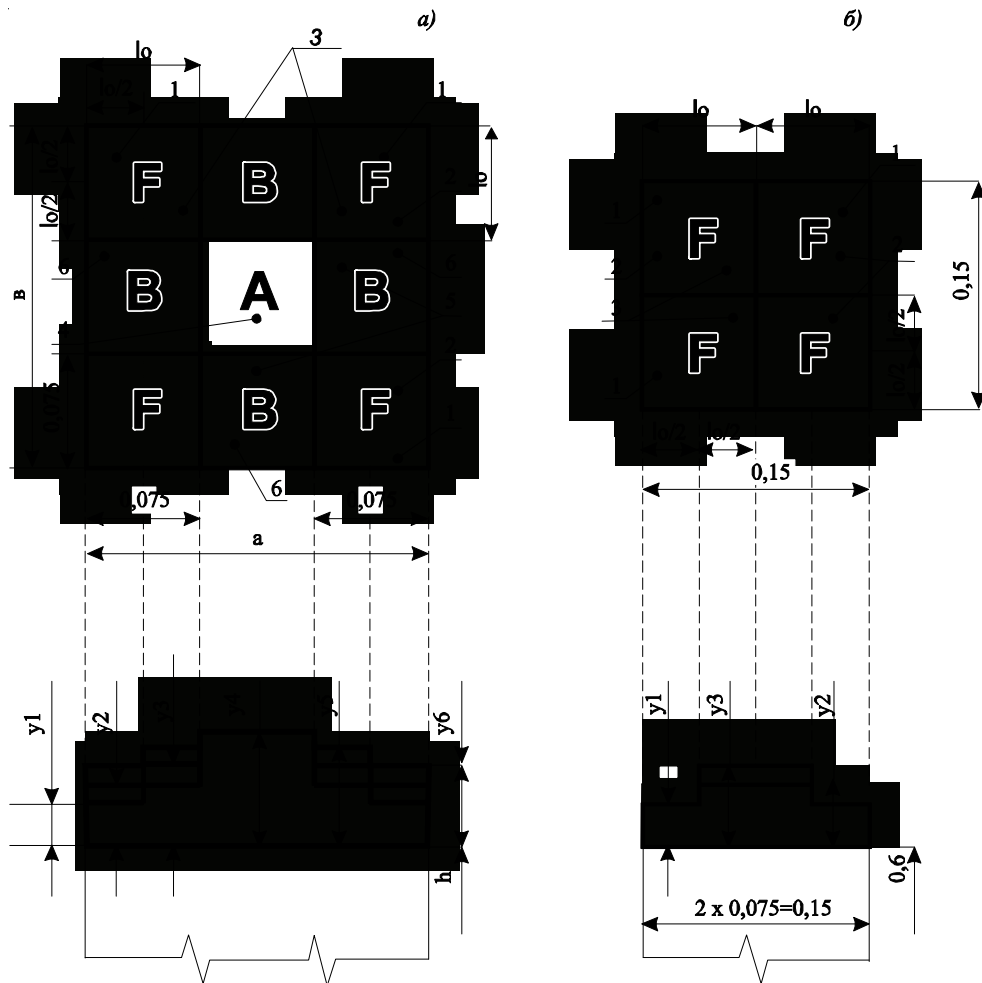


Рисунок 3. Ідеалізована схема розподілення характеристик властивостей бетону по поперечним сеченням елементів: а) – крупнорозмірний елемент; б) – елемент з розмірами стандартного зразка; У1... У6 – умовні показники характеристик бетону.

На приведенной схеме меткой 4 обозначена область конструкции с постоянной влажностью и неповрежденной структурой; меткой 6 – области с интенсивным односторонним влагоудалением; меткой 1 – области наиболее интенсивного удаления влаги через две смежные грани конструкции; области, обозначенные метками 2, 3, 5 – являются переходными.

На основании приведенного анализа можно кратко сформулировать предпосылки, положенные в основу гипотезы о распределении характеристик свойств бетона в плоскости нормального сечения стержневого элемента в пределах некоторой высоты, h :

- крупноразмерный бетонный элемент представляется составным в виде: центральной части объема из сплошного изотропного материала и внешней части в виде материала с трещиноватой структурой;

- внешняя часть с трещиноватой структурой имеет толщину 0,075 м и состоит из внутренней и наружной частей равной величины;

- характеристики свойств бетона в отдельных объемах крупноразмерных элементов, за исключением наружной части внешнего слоя толщиной 0,0375 м, не зависят от размера поперечного сечения элемента.

Гипотезу о характере распределения свойств бетона по объему конструкции можно сформулировать так:

- при равномерном деформировании сжатых бетонных элементов, эпюра напряжений по нормальным сечениям принимается в виде ступенчатой поверхности, состоящей из смежных плоскостей, каждая из которых описывает зависимость $\sigma = \varphi(\varepsilon)$ в пределах некоторой части площади поперечного сечения крупноразмерного элемента.

Характерными частями площадей являются:

- для угловых элементов «F» – четверти, ограниченные собственными главными осями;

- для пристеночных элементов «B» – половина площади относительно оси, параллельной внешней грани, которая ограничивает элемент;

- для центральной части «A» – суммарная площадь элементов.

Обоснование размеров образцов-выпилов бетона для механических испытаний

Распределение характеристик свойств бетона по объему крупноразмерных элементов изучается,

как правило, испытанием выпиленных из исследуемого крупноразмерного элемента конструкции элементарных образцов. При назначении схемы распиловки возникает вопрос о размерах выпиливаемых образцов. Наименьший размер элементарного объема L_0 , характеристики свойств которого можно переносить на крупноразмерный элемент, в определенной степени обоснован в работе [11]. Для варианта с плотной «упаковкой» заполнителя $L_0 = 5d$, где d – размер крупного заполнителя. Если изучать механические свойства бетона на призмах, то второй (большой) размер следует принять $4L_0$. Таким образом, при использовании крупного заполнителя с фракцией 0,02 м наименьший размер испытываемого образца должен быть $0,10 \times 0,10 \times 0,40$ м, что соответствует требованиям [8]. Изучение неоднородности свойств бетона по объему (сечениям) железобетонных конструкций диктует несколько иной подход к назначению минимальных размеров образцов-выпилов и, как следствие, схем распиловки крупноразмерных конструкций на элементы.

При назначении наименьших размеров выпила целесообразно исходить из двух условий:

1. Крупноразмерный элемент можно представить в виде набора элементарных объемов, у которых условия влагообмена с окружающей средой остаются такими же, как и у соответствующих объемов бетона в крупноразмерном элементе.

2. Диаграмма деформирования такого условного составного крупноразмерного элемента должна совпадать с диаграммой $\sigma - \varepsilon$, полученной при испытаниях образца-близнеца. Для дальнейшего анализа следует определить термин «крупноразмерный элемент». Применительно к рассматриваемым стержневым элементам в изучаемом вопросе этим термином целесообразно называть конструкции с размерами, большими, чем у стандартных образцов. Это позволит считать призму с размерами $0,15 \times 0,15 \times 0,60$ м наименьшим крупноразмерным элементом. Поперечное сечение призмы с такими размерами можно представить состоящим из четырех частей, границы раздела которых совпадают с главными центральными осями. Сформированные на частях поперечного сечения элементы будут иметь размер $0,075 \times 0,075 \times 0,300$ м. В целом призма со стандартными размерами может быть набрана из восьми таких элементов и при этом будет соответствовать первому требованию, предъявляемому к образцам-выпилам. Для проверки

второго условия были проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены на рис. 1.

Испытаниям до разрушения были подвергнуты образцы-выпилы из стандартных образцов. Размер стороны поперечного сечения выпилов был принят равным 0,075 м, а высота выпилов – 0,300 м, т. е. призма разделялась на восемь равных частей. Теоретическое значение временного сопротивления, вычисленное с использованием графических зависимостей $\sigma - \epsilon$, приведенных на рис. 1, показало, что теоретические и опытные значения R_c, E_c, ϵ_{cu} практически совпадают, отклонение не превышает 3 %. Это свидетельствует, во-первых, о том, что процесс распиловки, если и повлиял на опытные значения характеристик бетона, то незначительно, а во-вторых, о том, что для данного бетона наименьший размер выпилов при изучении свойств бетона может быть назначен $0,075 \times 0,075 \times 0,300$ м. Элементы с таким размером и условиями влагообмена повторяются как составная часть крупноразмерной конструкции в виде углового элемента «F», состоящего из областей с метками 1, 2, 3 (рис. 3). С увеличением поперечных размеров образца в сечении появляются центральные элементы «A» и пристеночные «B», состоящие из областей с метками 4 и 5, 6 соответственно (рис. 3а).

Исследование неоднородности свойств бетона в крупноразмерных элементах следует проводить в два этапа. На первом этапе проводятся испытания до разрушения при осевом сжатии выпилов $0,075 \times 0,075 \times 0,300$ м из крупноразмерных элементов. Результаты испытаний позволят получить усредненные зависимости $\sigma - \epsilon$ в объемах «A», «B», «F» крупноразмерных элементов.

Для более детального изучения вопроса распределения свойств по объему элементы «A», «B», «F» следует рассмотреть отдельно. Объемы с меткой «A» представляют собой достаточно однородные элементы с практически неизменными по их объему свойствами в виду отсутствия факторов, приводящих к повреждению структуры. Диаграмма деформирования бетона для этих объемов может быть получена при непосредственном испытании выпилов. При этом, судя по [10], начальные сжимающие напряжения в виду их незначительности практически не влияют на прочность центральной зоны и их можно не учитывать. Объемы с метками «F» и

«B» представляют собой бетон с изменяющимися свойствами. Установление показателей неоднородности свойств в пределах элементов «B» и «F» является задачей второго этапа исследований, которая может быть решена при рассмотрении этих элементов как трещиноватых тел. Некоторая сложность при решении задачи заключается в том, что элементы «B» и «F» в принятой гипотезе предлагается рассматривать, состоящими из трех и двух подэлементов с отличающимися характеристиками свойств. В связи с этим до анализа элементов «B» и «F» дополнительно рассмотреть образцы-выпилы, включающие в себя смежные части элементов «A», «B» и «F», а также образец-выпил из крупноразмерного элемента с размерами стандартной призмы, образованной четырьмя областями с меткой «3» (рис. 3б, 4а).

Среди дополнительных образцов-выпилов, включающих смежные части элементов «A», «B» и «F», дальнейший интерес представляют те, которым принадлежат области с метками «5» и «4» и метками «2», «3», «5» и «6» (рис. 3а, 4б, 4в). Эти образцы-выпилы можно получить из крупноразмерных, имеющих область с меткой «4» размером $0,075 \times 0,075$ и более.

С учетом дополнительных образцов-выпилов можно назначить последовательность испытаний и анализа результатов, исходя из того, что каждый следующий образец будет отличаться от предыдущего одной областью, характеристики свойств которой предстоит установить.

В общем случае, исходя из расчетных схем усилий и направлений (рис. 4), при некоторых значениях осевой сжимающей силы N , вызывающей деформации ϵ_c , условия равновесия рассматриваемых элементов-выпилов можно записать так:

$$\sigma_{c1}^* A_{c1} + \sigma_{c2}^* A_{c2} + \dots + \sigma_{cn}^* A_{cn} = N, \quad (1)$$

где $\sigma_{c1} = \varphi(\epsilon_c)$, $\sigma_{c2} = \varphi(\epsilon_c)$, ... $\sigma_{cn} = \varphi(\epsilon_c)$ – нормальные напряжения в областях бетона «1–6» рассматриваемого элемента от продольной силы N , вызвавшей деформации ϵ_c ; A_1, A_2, A_n – площади области «1–6» образцов-выпилов; N – опытные значения продольной силы; ϵ_c – опытные значения продольных деформаций, вызванных силой N .

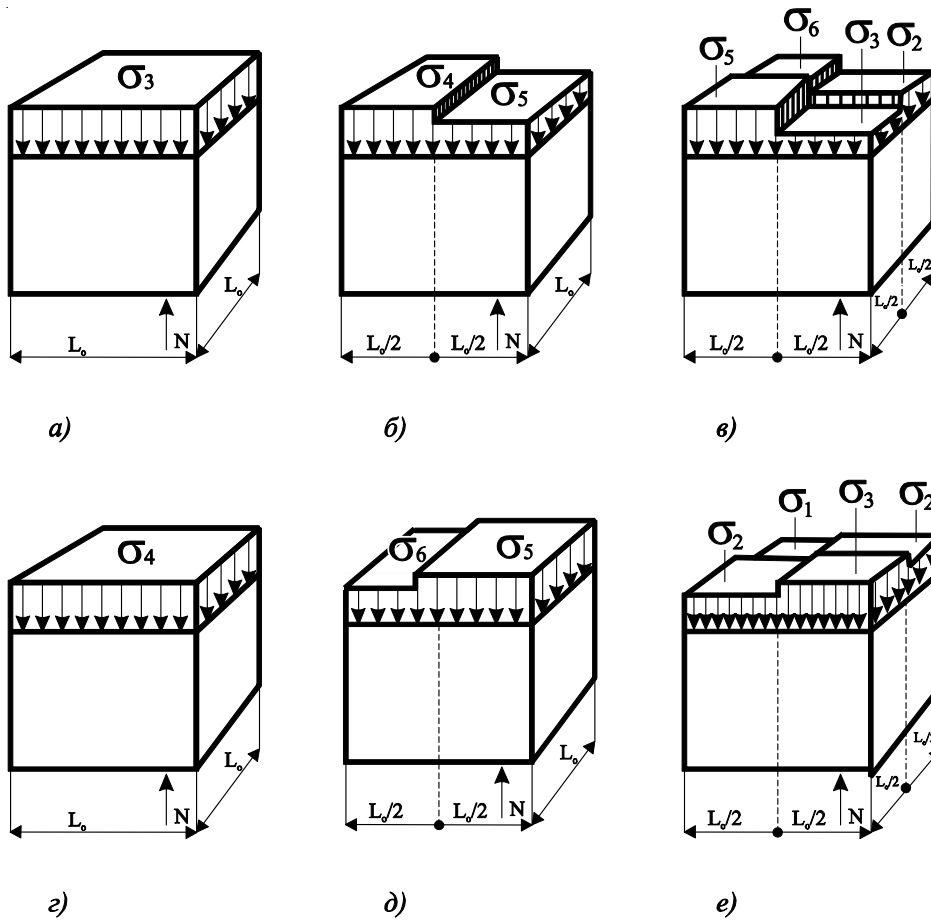


Рисунок 4. Расчетная схема усилий и напряжений в образцах-выпилах при равномерном сжатии.

Величины нормальных напряжений, входящих в равенство (1), можно получить экспериментально-теоретическим путем. Для этого, в первую очередь, следует установить соотношения $\sigma_{\sigma_3}^* = \varphi(\varepsilon_\sigma)$ и $\sigma_{\sigma_4}^* = \varphi(\varepsilon_\sigma)$. Эти соотношения устанавливаются испытанием соответствующих образцов-выпилов (рис. 4а, 4г) на осевое сжатие.

По результатам испытаний устанавливаются R_σ^* , E_σ^* , ε_σ^* и V_σ^* и зависимость напряжения-деформации в виде

$$\varepsilon_\sigma^* = \sigma_{\sigma_1} / V_\sigma^* E_\sigma^*. \quad (2)$$

Затем испытывается выпил, который представлен двумя областями бетона, с известными характеристиками свойств одной из них. Такой выпил-образец представлен областями бетона с метками «4» и «5» (рис. 3а, 4).

Для этого образца равенство (1) имеет вид

$$\sigma_{\sigma_4}^* A_4 + \sigma_{\sigma_5}^* A_5 = N, \quad (3)$$

где $\sigma_{\sigma_4}^*$, $\sigma_{\sigma_5}^*$ – нормальные напряжения в пределах областей с метками «4» и «5»; A_4 , A_5 – площади областей «4» и «5» в образцах-выпилах.

Так как зависимость напряжения-деформации для части образца с меткой «4» исследована, то для части с меткой «5» логично записать

$$\sigma_{\sigma_5}^* = \frac{N - \sigma_{\sigma_4}^* A_4}{A_5}.$$

Испытание образца-выпила проводится по методике [8] с определением на каждом этапе нагружения значений N и σ_σ .

Зависимость между напряжениями и деформациями для отдельных областей крупноразмерного элемента принимается в виде формулы (2) с определением V_σ^* по известной методике [11].

В такой же последовательности рассматриваются другие образцы-выпилы, в результате чего для каждой из шести областей, обозначен-

ных метками «1–6» будут определены значения R_g^* , E_g^* , ε_g^* и V_g^* .

Выводы

1. Экспериментальные исследования подтверждают наличие существенной неоднородности свойств бетона по объему крупноразмерных элементов.

2. Неоднородность свойств по объему бетонных конструкций обусловлена рядом факторов, имеющих выраженный направленный характер. Так, расслоение бетонной смеси происходит в направлении укладки и уплотнения бетонной смеси, и, как следствие, обуславливает физическую анизотропию свойств.

3. Явления, связанные с повреждениями структуры бетона из-за неоднородной усадки цементного камня развиваются на относительно небольшую глубину от поверхности конструкции с концентрацией в местах сопряжения граней.

4. При исследовании неоднородности свойств бетона следует учитывать направленность каждого из факторов, приводящих к этому явлению.

5. Предложенная упрощенная физическая модель неоднородного крупноразмерного элемента позволяет учитывать сложность характера и многофакторность рассматриваемого явления при определении изменчивости характеристик бетона по объему конструкции.

Литература

1. Лещинский, А. М. Систематическая неоднородность прочности тяжелого бетона в сборных железобетонных изделиях, формируемых на виброплощадках : автореф. дисс. на соиск. научн. степени канд. техн. наук / А. М. Лещинский. – М., 1981. – 20 с.
2. Фомин, С. Л. Расчет железобетонных конструкций на температурно-влажностные воздействия технологической и климатической среды : учеб. пособие / С. Л. Фомин. – К. : УМКВО, 1992. – 164 с.
3. Корсун, В. І. Неоднорідність міцнісних та деформативних властивостей бетону по об'єму масивних елементів конструкцій / В. І. Корсун, Ю. Ю. Калмыков // Сучасні проблеми будівництва / ПромбудНДІпроект. – Донецьк : ПромбудНДІпроект : Лебідь, 2002. – С. 95–102.
4. Калмыков, Ю. Ю. Объемное напряженно-деформированное состояние стержневых железобетонных элементов в условиях однократного нагрева до +150 °С : автореф. дис. на соиск. научн. степени канд. техн. наук / Ю. Ю. Калмыков. – Макеевка, 2004. – 20 с.
5. Карапетян, К. С. Влияние анизотропии на деформации ползучести бетона / К. С. Карапетян // Известия АН АрмССР. Сер. Физико-математические науки. – 1957. – № 6. – С. 29–33.
6. Веретенников, В. І. Дослідження неоднорідності бетону по об'єму вертикальних монолітних елементів / В. І. Веретенников, М. С. Булавицький // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць / під ред. Є. М. Бабища. – Вип. 18. Ч. 1 – Рівне : Нац. ун-т водного господ. та природокористування, 2008. – С. 142–147.
7. Структурообразование и разрушение цементных бетонов: монография / В. В. Бабков, В. Н. Мохов,

References

1. Leshchinskiy, A. M. Systematic inhomogeneity of heavy-weight concrete strength in prefabricated reinforced products formed on a table vibrator. PhD dissertation abstract. Moscow, 1981. 20 p. (in Russian)
2. Fomin, S. L. Analysis of reinforced concrete structures to the temperature and humidity effect of engineering and weathering environment. Kyiv: UMKVO, 1992. 164 p. (in Russian)
3. Korsun, V. I.; Kalmykov, Yu. Yu. Inhomogeneity of strength and deformable properties of concrete in accordance to volume of structural mass elements. In the *compendium Contemporary civil engineering problems*. Donetsk: ProbudNDIproyekt, Lebid, 2002, p. 95–102. (in Ukrainian)
4. Kalmykov, Yu. Yu.. Solid stressed and strained state of reinforcing bars in conditions of single heating up to +150 °C. PhD dissertation abstract. Makeevka, 2004, 20 p. (in Russian)
5. Karapetyan, K. S. Impact of anisotropy on concrete creep strain. In the *Proceedings of the Academy of Sciences of the Armenian SSR: Series of Physics and Mathematics*, 1957, Vol. 6, p. 29–33. (in Russian)
6. Veretennikov, V. I.; Bulavytsky, M. S. Investigations of concrete inhomogeneity on vertical monolithic elements. In *Compendium Resource economic materials, structures and constructions*. Vol. 18, part I. Rivne: National University of Water Supply Facilities and Nature Usage Press, 2008, p. 142–147. (in Ukrainian)
7. Babkov, V. V.; Mokhov, V. N.; Kapitonov, S. M.; Komokhov P. G. Structural formation and cement concrete failure. Monograph. Ufa: 2002, 326 p. (in Russian)
8. Building materials. Concrete. Strength determination procedures with testing specimens.

- С. М. Капитонов, П. Г. Комохов. – Уфа : [б. и.], 2002. – 326 с.
8. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками : ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – Замість ГОСТ 10180-90 ; уведено 2010-09-01. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 36 с.
 9. Yuasa, N. Inhomogeneous Distribution of Compressive Strength from Surface Layer to Interior of Concrete in Structures / N. Yuasa, Y. Kasai, I. Matsui // *Special Publication*. – 2002. – Vol. 192. – Pp. 269–282.
 10. Бабич, Є. М. Вплив тривалих і малоциклових навантажень на механічні властивості бетону та роботу залізобетонних елементів : автореф. дис.... доктора техн. наук / Є. М. Бабич. – Одеса, 1996. – 43 с.
 11. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01.-84*. – Взамен СНиП II-21-75 и СН 511-78 ; введ. 1986-01-01. – М. : ЦИТП Госстрой СССР, 1989. – 80 с.
 12. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона [Электронный ресурс] : ГОСТ 24452-80. – Введен 1982-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1980. – Режим доступа : <http://www.gosthelp.ru/text/GOST2445280BetonyMetodyop.html>.
 13. Arioglu, E. Discussion on paper published in *Magazine of Concrete Research* 1999, Vol. 3, June, 217–225 «Scale effects in uniaxially compressed concrete specimens» / E. Arioglu, N. Arioglu, C. Girgin // *Magazine of Concrete Research*. – 2000. – Vol. 5. – Pp. 395–398.
 14. Новгородский, М. А. Контроль прочности бетона в конструкциях без разрушения (приборами механического действия) / М. А. Новгородский ; [заг. ред. К. Ломазов]. – К. : Гос. изд-во лит-ры по стр-ву и архитектуре УССР, 1963. – С. 62.
 15. Williamson, G. R. An investigation of standard concrete cylinders / G. R. Williamson // *ACI Journal*. – 1964. – № 2. – Pp. 151–153.
 16. Öztürk, T. Propagation of ultrasound in concrete – Spatial distribution and development of the Young's modulus / Öztürk T., Kroggel O., Grübl P. // *BB 85-CD Intern. Sympos. (NDT-CE 2003) Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003 Berlin*, September 16–19, 2003.
 - DSTU B В.2.7-214:2009. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2010. 36 p. (in Ukrainian)
 9. Yuasa, N.; Kasai, Y.; Matsui, I. Inhomogeneous Distribution of Compressive Strength from Surface Layer to Interior of Concrete in Structures. *Special Publication*, 2002, Vol. 192, p. 269–282.
 10. Babitch, E. M. Impact of long-term and low-iterative loads on mechanical properties of concrete and reinforced concrete elements behaviour. DSc thesis abstract. Odesa, 1996. 43 p. (in Ukrainian)
 11. Structural Rules and Regulations. Concrete and reinforced concrete structures: SNiP 2.03.01-84*, Moscow: TSITP Gosstroy SSSR, 1989. 80 p. (in Russian)
 12. Concrete. Determination procedures of prism strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. GOST 24452-80. Moscow: State Committee on the Civil Engineering, 1980. <http://www.gosthelp.ru/text/GOST2445280BetonyMetodyop.html>. (in Russian)
 13. Arioglu, E.; Arioglu, N.; Girgin, C. Discussion on paper published in *Magazine of Concrete Research*, 1999, Vol. 3, June, 217–225 «Scale effects in uniaxially compressed concrete specimens». *Magazine of Concrete Research*, 2000, Vol. 5, p. 395–398.
 14. Novgorodsky, M. A. Concrete strength control in structures without failure (by the mechanical actions instruments). Kyiv: National Publishing House of the Civil Engineering and Architectural Literature of UkrSSR, 1963, p. 62. (in Russian)
 15. Williamson, G. R. An investigation of standard concrete cylinders. *ACI Journal*, 1964, № 2, p. 151–153.
 16. Öztürk, T.; Kroggel, O.; Grübl, P. Propagation of ultrasound in concrete – Spatial distribution and development of the Young's modulus. *BB 85-CD Intern. Sympos. (NDT-CE 2003) Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003 Berlin*, September 16–19, 2003.

Веретенников Віталій Іванович – к. т. н., ректор Макіївського економіко-гуманітарного інституту, професор кафедри технології, організації і охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок залізобетонних конструкцій з використанням повних діаграм деформації матеріалів.

Веретенников Виталий Иванович – к. т. н., ректор Макеевского экономико-гуманитарного института, профессор кафедры технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет железобетонных конструкций с использованием полных диаграмм деформирования материалов.

Veretennikov Vitaly – Cand. Sc. in Technology, Rector of Makeyevka Institute of Economics and Humanities, Professor of the Department of technology, organization and safety in construction of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: design of reinforced concrete structures with application of complete diagrams of deformation of materials.