

ТИПЫ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ БЕТОНОВ И ЕЕ УЧЕТ В ТЕХНОЛОГИИ И РАСЧЕТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

© С. А. Стельмах

ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия

В исследовании были выявлены и проанализированы типы структурной неоднородности бетонов, а также оценка возможности ее применения в практическом строительстве, проектировании и производстве. Научная новизна исследования заключается в аналитическом обзоре существующих работ, включая собственные исследования, которые касаются развития существующих представлений о природе возникновения неоднородностей бетона, его физической сущности и технологического смысла. Сформулированы выводы о возможности учёта структурных неоднородностей бетона в технологии и расчётах строительных конструкций из железобетона. Выявлено, что перспективой обладают именно вариатропные конструкции с неоднородной структурой бетона по своему сечению. У таких конструкций имеется определенный запас и резерв прочности, которые можно эффективно использовать технологами, конструкторами и проектировщиками для создания новых типов эффективных строительных изделий и конструкций.

Ключевые слова: бетон, вибрирование, центрифугирование, фибра, структурная неоднородность, вариатропия.

Введение. В условиях повышающихся требований современного строительства к возводимым зданиям и сооружениям с учетом всех глобальных трендов и вызовов, с которыми сталкиваются современные проектировщики и строители, актуальным остаётся вопрос о качестве, безопасности и надежности строительных конструкций, зданий, сооружений, изделий и материалов. При сохранении этих параметров одновременно необходимо проводить научные изыскания в области повышения качества и улучшения эксплуатационных характеристик строительных материалов, изделий и конструкций ввиду того, что постепенно происходит исчерпание ресурсов, происходит существенное удорожание сырьевых материалов и оборудования. Всё это оставляет свой отпечаток и требует решения всех проблем с помощью нестандартных подходов.

Безусловно, на рынке строительных материалов, изделий и конструкций одно из лидирующих мест отводится изделиям и конструкциям из бетонов на основе цементных вяжущих. Эти материалы являются на протяжении

многих десятилетий основными, так как из них возводится абсолютное большинство зданий и сооружений, постоянно дорабатываются их составы, технологии, конструктивные решения бетонов и железобетонных элементов, и несмотря на многие попытки ухода от этого материала в сторону некоторых аналогов, данный материал все равно остаётся наиболее востребованным среди иных композиционных строительных материалов.

Следует отметить, что при всех преимуществах бетона имеются определённые недостатки, которые широко известны, однако они могут быть частично или полностью устранены за счёт инновационных решений в области материаловедения, контроля, исследований, конструкторских решений и технологических решений, в том числе и с помощью нестандартных подходов.

Сформулируем цель, задачи исследования, основную проблему, научную значимость и практическую новизну.

Целью исследования является выявление и анализ типов структурной неоднородности

бетонов, а также оценка возможности ее применения в практическом строительстве, проектировании и производстве.

Задачами исследования будут выступать обзор существующих исследований, включая собственные, касающиеся структурных неоднородностей бетонов различных типов, анализ возможности применения структурной неоднородности в прикладных отраслях, изучение природы возникновения таких неоднородностей, в частности разделение неоднородности на два типа: 1) естественная, возникающая сама по себе; 2) направленная, возникающая за счёт специальных рецептурно-технологических воздействий на бетоны при формировании.

В конечном итоге оценка полученных аналитических результатов с целью формулирования возможности учета неоднородностей бетона различного рода в технологии и расчёте строительных конструкций.

Научной новизной исследования будет являться аналитический обзор существующих работ, включая собственные исследования, которые касаются развития существующих представлений о природе возникновения неоднородностей бетона, его физической сущности и технологического смысла.

В качестве прикладной значимости работы будут сформулированы выводы о возможности учёта структурных неоднородностей бетона в технологии и расчётах строительных конструкций из железобетона.

Основная часть. Итак, в частности, известно, что бетон является композиционным материалом, характеризующимся неоднородной структурой. В свою очередь, неоднородность этой структуры во многом зависит от исходного компонентного состава, а также от технологии изготовления элементов, выполненных из бетона, кроме этого, существенную роль играет конструктивное решение. При этом следует учитывать фундаментальное условие взаимосвязи между составом, структурой и свойствами. В свою очередь, это фундаментальное взаимоотношение следует дополнить прикладными составляющими, такими как технология и расчёт.

Исходя из положений практически всех работ ученых, когда-либо занимавшихся во-

просами технологии бетонов во всех его проявлениях, отмечается высокая степень неоднородности данного композита. Известно [1], что с технологической точки зрения практически невозможно получить полностью однородную структуру. Технология бетона направлена лишь на минимизацию пустот, пор, непрогидратировавших зерен, а также на максимально рациональную структуру бетона, которая, в свою очередь, согласно фундаментальным законам строительного материаловедения в том числе, влияет на классическое соотношение: состав $\rightarrow$ структура $\rightarrow$ свойства. Таким образом, работами этих авторов также подтверждается прямое влияние структуры бетона на свойства затвердевшего композита.

Неоднородность бетона многими исследователями (в основном занимавшимися вопросами традиционного вибрированного бетона) в глобальном смысле рассматривается как отрицательное свойство, деструктивно влияющее на качество получаемых бетонных и железобетонных конструкций.

Так, в первую очередь в работах Ю.М. Баженова и О.А. Гершберга, а также во многих других работах описываются вибрированные бетоны [2]. Как правило, это вертикально формируемые элементы, в которых при вибрировании возникает так называемое явление сегрегации, то есть расслоение смеси по высоте элемента. Таким образом бетон, состоящий из тяжелой фракции крупного заполнителя, получает следующую картину структуры: крупные тяжелые частицы оседают в нижней части элемента, а легкие частицы (если это мелкие или пористые заполнители, либо иные легкие компоненты) всплывают и оказываются наверху такого элемента. Таким образом, при вертикальном вибрировании, будь это вибрирование на виброплощадке или погружение в смесь глубинных вибраторов, мы получаем расслоившийся элемент, который является неоднородным по высоте. Свойства его разнятся, и зачастую это приносит большое количество проблем для проектировщиков и строителей. Таким образом, основной задачей технологов, работающих с вибрированным бетоном, является рациональный подбор технологических и рецептурных факторов, в первую очередь ча-

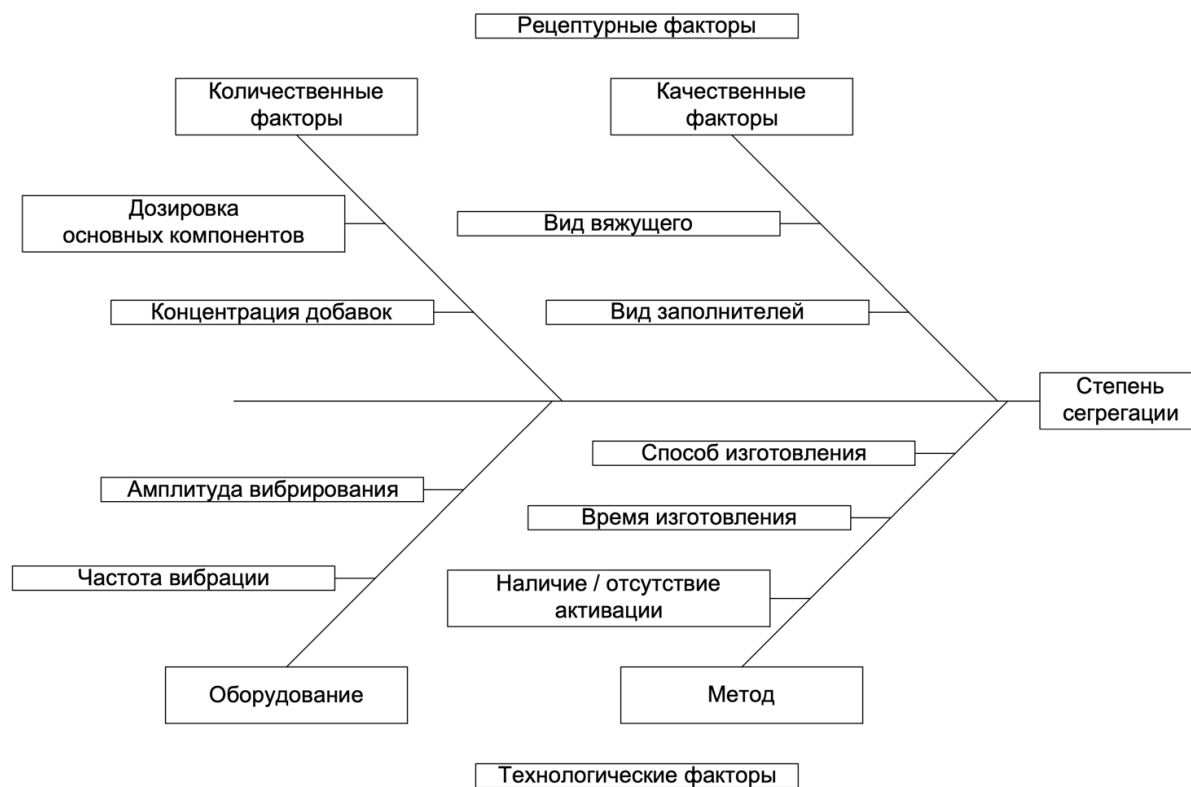


Рис. 1. Диаграмма Исикавы: факторы, влияющие на степень сегрегации

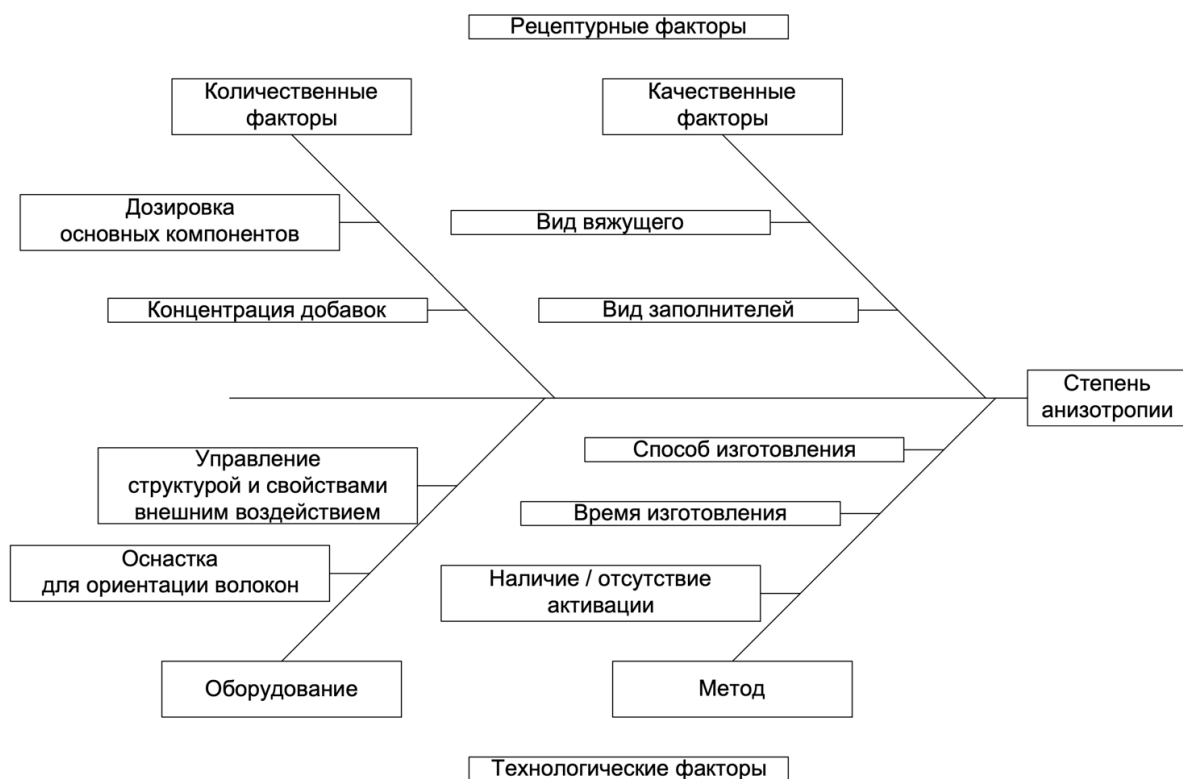


Рис. 2. Диаграмма Исикавы: факторы, влияющие на степень анизотропии

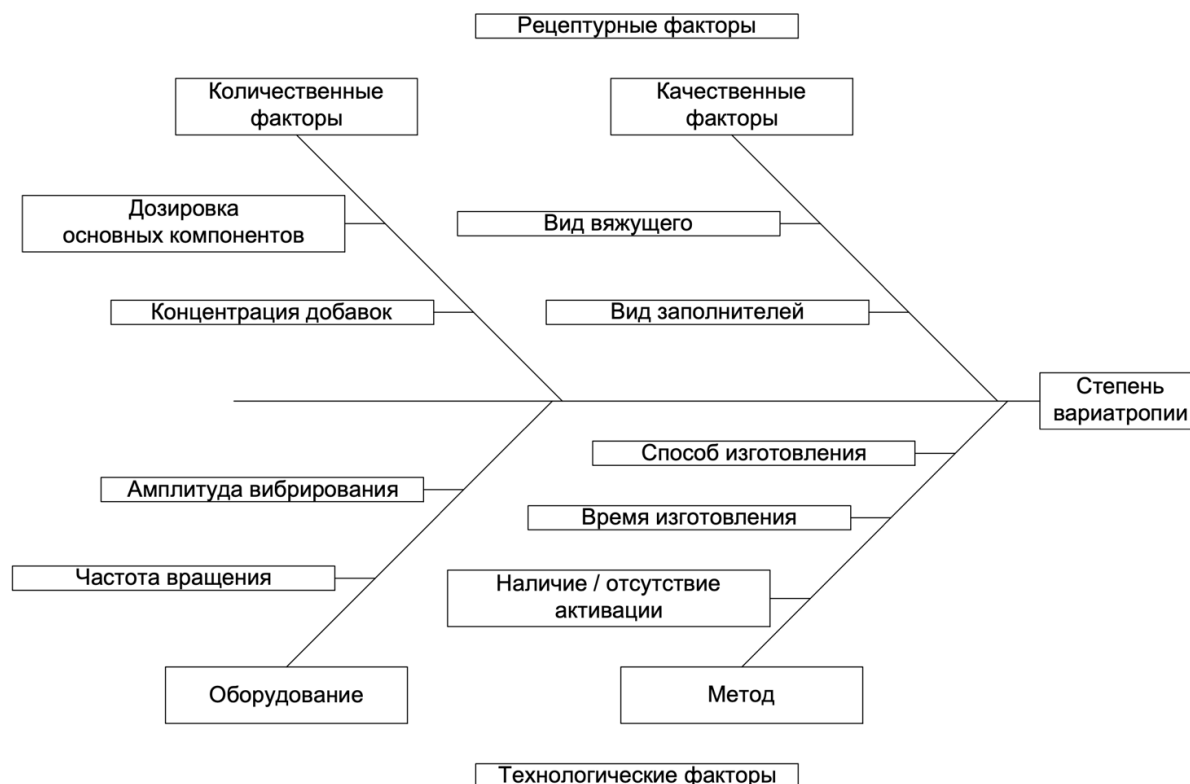


Рис. 3. Диаграмма Исикавы: факторы, влияющие на степень вариатропии

стоты, амплитуды вибрации и иных показателей, которые более наглядно будут выглядеть в виде диаграмм Исикавы (рис. 1-3).

Рассмотрим другой вид бетона, принципиально отличающийся по технологии, структуре и, следовательно, по свойствам. Это так называемый вариатропный бетон, как правило, имеющий кольцевое сечение и производимый способами центробежного уплотнения бетонной смеси.

Если в случае с вибрационным уплотнением мы имеем в виду силу тяжести, которая помогает уплотнить бетон, то в случае с центробежным уплотнением мы сталкиваемся с центробежными силами, которые уплотняют бетон при раскрутке бетонной смеси в центрифугах.

Известны работы И.Н. Ахвердова, О.А. Гершберга, А.П. Кудзиса, Л.Р. Маиляна, Г.П. Пастушкова, Ю.Я. Штаермана и многих других выдающихся ученых, занимавшихся центрифугированными бетонами [3-7].

В случае центробежного уплотнения бетонной смеси вариатропная структура камня в классической теории рассматривалась как от-

рицательное свойство, и предпринимались попытки такую структуру, представляющую собой различие свойств не по высоте элемента, а по его сечению, свести к минимуму. Для этого предпринимались различные попытки рецептурных и технологических регулирований этой структуры. Известны работы, проводившиеся в Ростове-на-Дону, а также в Минске, Москве и Вильнюсе, направленные на технологию и расчет центрифугированных элементов. При этом вводились различные элементы в состав бетонной смеси для того, чтобы усреднить вариатропию и попытаться сделать ее близкой к нулю, нейтрализовав ее по всему сечению.

Однако впоследствии в ДГТУ (ранее РГСУ и РИСИ) в работах в рамках научной школы Л.Р. Маиляна, академика РААСН, были достигнуты результаты, подтверждающие положительный эффект от вариатропии при рациональном выборе рецептурно-технологических факторов и правильном учете вариатропных свойств бетона при расчете конструкций. Так, была доказана эффективность и выявлены скрытые резервы несущей способности вари-

атропных сечений у виброцентрифугированных бетонов [8]. Там вариатропия имела ярко выраженный характер, однако с помощью разработанных расчетных рекомендаций была получена рациональная методика расчета и проектирования таких конструкций и было вскрыто порядка 30% с прочности, находящейся в резервах. Тем самым, вариатропность при явных преимуществах таких пустотелых конструкций, легких по весу и маломатериалоемких по содержанию, приводила к достаточно существенному экономическому, технологическому и эксплуатационному эффекту.

Продолжая рассмотрение структур бетона, следует отметить анизотропные его свойства. Анизотропия – явление более характерное для других материалов, таких как, например, древесина. То есть это волокнистые материалы, которые в одном направлении имеют свойства, разительно отличающиеся от свойств в поперечном направлении.

Для бетона такое явление работы характерно для исследований, посвященных влиянию фибрового, то есть дисперсно-волоконистого армирования бетонов. Такие работы проводились для фибропенобетонов, то есть дисперсно-армированных ячеистых бетонов, например в работах Л.В. Моргун [9], в тяжелых и облегченных бетонах – в работах под руководством Л.Р. Маиляна [10, 11]. В работе Е.П. Матуса была рассмотрена возможность управления направленным фибровым армированием бетонов с помощью магнитного поля. Ориентация им фибр в пространстве в теле бетона задавала существенную анизотропию, однако такая анизотропия схожа с традиционным стержневым армированием и несет основные преимущества именно для изгибаемых элементов [12].

Таким образом, подытожив, можно выделить три различных типа структуры бетона (рис. 4):

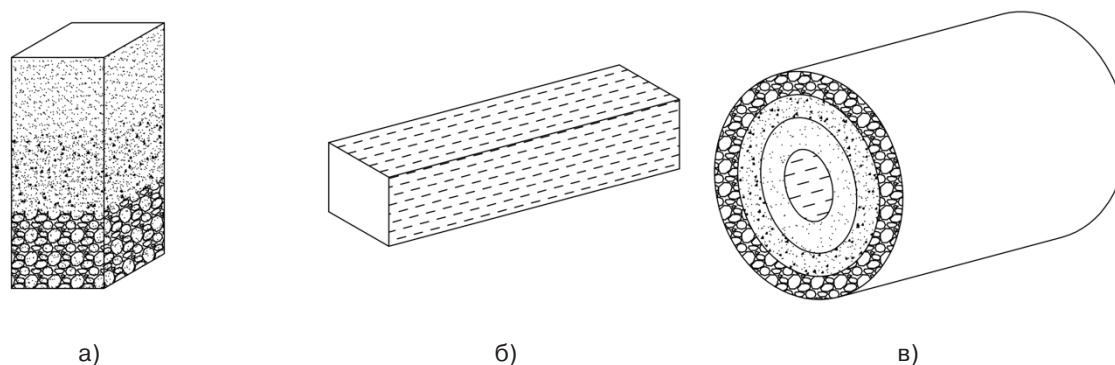


Рис. 4. Типы структурной неоднородности бетона: сегрегированная (а), анизотропная (б), вариатропная (в)

Таблица 1

Особенности структур бетона

Тип структуры бетона	Характерная технология	Достоинства	Недостатки
Сегрегация	Вибрирование	Простота в изготовлении	Расслоение по высоте, массивность конструкций
Анизотропия	Дисперсное армирование изгибаемых элементов	Возможность управления свойствами бетона в нужном направлении	Применимость в основном для изгибаемых элементов
Вариатропия	Центробежное уплотнение	Легкий вес конструкций, малая материалоемкость	Сложность в изготовлении, невозможность монолитного изготовления элемента по месту строительства

- сегрегированная структура, то есть неоднородность по высоте элемента;
- анизотропия, где в одном направлении структура бетона имеет совершенно другие свойства, чем в другом;
- вариатропная структура, то есть неоднородность по сечению.

Заключение. Рассмотрим некоторые аспекты решений существующих проблем бетона и элементов из него, касающихся вопросов неоднородности, анизотропии, вариатропии и иных свойств и явлений, которые возникают в бетонах и на протяжении длительного периода являются проблемами проектировщиков, строителей, технологов и учёных, занимающихся решением указанных проблем.

Следует подходить к вопросам неоднородности бетона как к проблеме современного строительства, с точки зрения комплексного подхода: состав – структура – технология – расчёт – свойство. В этой связи интересным и перспективным выглядит использование неоднородности бетона в качестве преимущества, разумеется, при определённых допущениях и в определённых условиях.

Как известно, бетон характеризуется по своей структуре, в зависимости от различных методов, достаточно широкой классификацией. Так, по плотности бетон может быть в упрощённом виде и исходя из его физических свойств: легким, облегчённым и тяжёлым. Особыми случаями являются: ячеистые и мелкозернистые бетоны, а также сверхплотные бетоны. Все эти материалы, в зависимости от состава, отличаются также по степени своей неоднородности, за счёт управляемых и регулируемых, и неуправляемых и нерегулируемых факторов. Кроме этого, существуют конкретные технологии, которые, в свою очередь, влияют на возникновение неоднородности бетона либо по толщине сечения, либо по высоте сечения. Такими технологиями, в частности, может выступать наиболее распространённая технология – вибрирование. При такой технологии возникает явление сегрегации бетонной смеси – расслоение ее по высоте, а именно процесс, когда более тяжёлые частицы оседают в нижней части элемента, а в верхней части

элемента собираются более лёгкие частицы, и таким образом возникает разность свойств по высоте элемента.

Безусловно, очень направленным на возникновение разности свойств по сечению элемента являются различного рода технологии центробежного уплотнения, как правило, применяемые для изготовления железобетонных элементов кольцевого и круглого сечения. В этих сечениях возникает называемое нами явление вариатропии, т.е. это явление, которое характеризует разность и дифференциацию свойств по сечению элемента.

Кроме этого, для технологии вибрирования известны способы получения вариатропных или анизотропных дифференцированных свойств по сечению элемента, например, работа Е.Д. Гильмана. [13]. В этом случае, при электрической активации изгибаемого элемента прямоугольного сечения мы получаем дифференциацию свойств за счёт различий в зонах активации при твердении элемента. Так, в зоне анода мы получаем более плотный и прочный бетон по отношению к средней зоне и тем более по отношению к зоне катода. Такое свойство успешно было применено при расчёте, проектировании и эксплуатации изгибаемых железобетонных элементов с дифференциацией свойств по сечению. Тем самым мы сталкиваемся с различными технологическими приемами, которые осознанно или вынужденно ведут к возникновению дополнительной неоднородности и дифференциации характеристик бетонизируемых элементов.

При этом следует отметить, что сам по себе бетон в силу своей гетерогенной структуры является неоднородным композитным материалом, сочетающим в себе различные исходные компоненты: вяжущее, мелкий заполнитель, крупный заполнитель, наполнители и в зависимости от характеристик этих исходных компонентов существенно изменяется и его неоднородность, в т.ч. и анизотропия, вариатропия, сегрегация и иная дифференциация свойств элемента.

Так, одними из известных приемов управления структурой и свойствами бетона с вынужденной или управляемой дифференциацией является применение разноплотных и

разнохарактерных заполнителей. Например, применение комбинированных способов для крупного заполнителя, сочетание легких пористых с тяжелыми плотными заполнителями, использование комбинирования в мелком заполнителе различных пористых песков в сочетании с песками из плотных горных пород, применение различных наполнителей для достижения более плотной структуры, как в отдельных участках бетона, так и в элементе в целом, что также влияет, в том числе, и на дифференциацию характеристик элемента. Это могут быть различные наномодифицирующие добавки для получения так называемых Ultra-High Performance Concrete (UHPC), это могут быть какие-то элементы для получения более плотной упаковки частиц в ячеистых бетонах, это могут быть также и дополнительные технологические воздействия на бетоны и бетонные смеси для управления неоднородностью и дифференциацией свойств бетона.

Так, известны работы по применению электрических полей с малой энергоемкостью и высокой частотой для управления структурообразованием и свойствами ячеистых бетонов [14-16].

Кроме этого, известны работы по дополнительному вибрационному воздействию в режимах центробежного уплотнения [2-4, 8, 17-19].

Известны также способы вариативного виброуплотнения и особых режимов вибрационного воздействия на традиционные виды бетонов, например [7]. Тем самым мы получаем комплекс методов, который в общем виде можно охарактеризовать как: система методов управления структурообразованием и свойствами цементных бетонов, основанных на дополнительном рецептурном и технологическом воздействии на его дифференциацию характеристик в теле элемента.

Таким образом мы способствуем продвижению в направлении управления составом, структурой и свойствами строительных композитов за счёт технологии. В результате всего этого мы можем совершенствовать расчётные рекомендации, которые позволят высвободить скрытые резервы бетонов с управляемой и неуправляемой неоднородностью, и дифференциацией характеристик в теле элемента.

Выводы. Подводя итоги проведенного анализа, можно сделать следующие выводы.

Структурная неоднородность является неустраняемым спутником бетона и присутствует во всех типах бетонов, лишь в некоторых сводясь к минимуму.

При этом с точки зрения технологии можно лишь корректировать неоднородность, управлять ею, но всегда какая-то доля неоднородности остается.

С точки зрения же конструкторов и проектировщиков основной задачей является правильный учет этой неоднородности для того, чтобы получать наиболее эффективные конструкции и изделия.

Таким образом, из рассмотренных типов структурной неоднородности однозначно наибольшими недостатками обладает сегрегация. Такие бетоны являются наименее перспективными с точки зрения эксплуатации, и сегрегация – явление, однозначно подлежащее максимальному устранению с точки зрения технологий, и это явление отрицательное со всех точек зрения.

Что касается анизотропии, то это специфическое свойство ввиду заведомо иной структуры бетона в отличие от древесных волокнистых материалов, которым в наибольшей степени присуща анизотропия. Такая неоднородность может быть создана с помощью технологии, но такие анизотропные изделия ограничены в своей эксплуатации. Как правило – это изгибаемые элементы, которые имеют направленное армирование дисперсное, при этом следует отметить, что наиболее эффективно можно управлять армированием именно игольчатыми жесткими волокнами с помощью магнитных полей, а управлять мягкими волокнами можно лишь распушая их и загружая их в определенной последовательности в смеситель.

Наибольшей же, с нашей точки зрения, перспективой обладают именно вариатропные конструкции с неоднородной структурой бетона по своему сечению. Здесь вариатропия, в отличие от анизотропии, имеет замкнутый по сечению характер и способствует управлению свойствами конструкции, ввиду того, что работает внешний контур и отсутствуют разрывы именно в рабочем сечении. Таким образом, у

таких конструкций имеется определенный запас и резерв прочности, которые можно эффективно использовать технологами, конструкто-рами и проектировщиками для создания новых типов эффективных строительных изделий и конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2007. 528 с.
2. Гершберг О. А. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1965.
3. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
4. Ахвердов И. Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Стройиздат, 1969. 164 с.
5. Кудзис А. П. Железобетонные и каменные конструкции (Ч. 1. Материалы, конструирование, теория и расчет). М.: Высшая школа, 1988. 286 с.
6. Пастушков Г. П. Многоэтажные каркасные здания с несущими железобетонными центрифугированными элементами: автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.23.01, 05.23.05. БГПА. Минск, 1994. 36 с.
7. Штаерман Ю. А. Центрифугированный бетон. Тифлис: Техника да Шрома, 1933. 106 с.
8. Холодняк М. Г. Совершенствование расчета и технологии создания виброцентрифугированных железобетонных колонн с учетом вариативности структуры: дис.... канд. техн. наук: 05.23.01, 05.23.08. ДГТУ. Ростов-на-Дону, 2020. 181 с.
9. Моргунов Л. В. Структурообразование и свойства фибропенобетонов неавтоклавно твердения: автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.23.05. РГСУ. Ростов-на-Дону, 2005. 23 с.
10. Булавин В. А. Газобетон для монолитных ограждающих конструкций с вариативной поровой структурой: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. РГСУ. Ростов-на-Дону, 2004. 23 с.
11. Айвазян Э. С. Технологии создания и методы расчета фибробетонных и фиброжелезобетонных элементов с агрегированным распределением волокон: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.01; 05.23.08. РГСУ. Ростов-на-Дону, 2013. 23 с.
12. Матус Е. П. Воздействие магнитного поля на структуру и свойства цементно-песчаного сталефибробетона: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. НГАСУ. Новосибирск, 2000. 20 с.
13. Гильман Е. Д. Улучшение свойств бетона и железобетона при воздействии постоянного тока малого напряжения: дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. Рост. инж.-строит. ин-т. Ростов-на-Дону, 1979. 203 с.
14. Стельмах С. А. Влияние параметров малоэнергетических переменных электрических полей на свойства активированных теплоизоляционных пено- и фибропенобетонов: дис.... канд. техн. наук: 05.23.01, 05.23.08. Рост. гос. строит. ун-т. Ростов-на-Дону, 2014. 180 с.
15. Щербань Е. М. Регулирование структурообразования и свойств теплоизоляционных пено- и фибропенобетонов, активированных малоэнергетическим переменным электрофизическим воздействием, технологическими и рецептурными факторами: дис.... канд. техн. наук: 05.23.08, 05.23.05. Рост. гос. строит. ун-т. Ростов-на-Дону, 2014. 216 с.
16. Щербань Е. М. О влиянии обработки пенобетонной смеси переменным электрическим полем на свойства пенобетона / Ткаченко Г. А., Гольцов Ю. И., Стельмах С. А. // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. С. 170.
17. Овсянкин В. И. Железобетонные трубы для напорных водоводов (3-е издание). М.: Стройиздат, 1971. 320 с.
18. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Mintsayev M. Sh., Bisultanov R. G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 500-503.

19. Bataev D. K-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M. Sh., Viskhanov S. S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклнкерных вяжущих щелочной активации) / Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 457-460.

TYPES OF STRUCTURAL HETEROGENEITY OF CONCRETE AND ITS ACCOUNTING IN THE TECHNOLOGY AND CALCULATION OF BUILDING STRUCTURES

© S. A. Stelmakh

DSTU, Rostov-on-Don, Russia

The study identified and analyzed the types of structural heterogeneity of concrete, as well as the assessment of the possibility of its application in practical construction, design and production. The scientific novelty of the research consists in an analytical review of existing works, including our own research, which concerns the development of existing ideas about the nature of the occurrence of concrete inhomogeneities, its physical essence and technological meaning. Conclusions are formulated about the possibility of taking into account structural heterogeneities of concrete in the technology and calculations of reinforced concrete building structures. It is revealed that it is variatropic structures with an inhomogeneous structure of concrete in their cross-section that have the prospect. Such structures have a certain margin and reserve of strength, which can be effectively used by technologists, designers and designers to create new types of effective building products and structures.

Keywords: concrete, vibrating, centrifugation, fiber, structural heterogeneity, variatropy

REFERENCES

1. Bazhenov Yu. M. (2007) Tekhnologiya betona. [Concrete technology]. M.: Izd-vo ASV. P. 528.
2. Gershberg, O. A. (1965) Tekhnologiya betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii. [Technology of concrete and reinforced concrete products]. M.: Stroiizdat.
3. Akhverdov, I. N. (1981) Osnovy fiziki betona. [Fundamentals of concrete physics]. M.: Stroiizdat. P. 464.
4. Akhverdov, I. N. (1969) Zhelezobetonnye napornye tsentrifugirovannye truby. [Reinforced concrete pressure centrifuged pipes]. M.: Stroiizdat. P. 164.
5. Kudzis, A. P. (1988) Zhelezobetonnye i kamennye konstruksii (Ch. 1. Materialy, konstruirovaniye, teoriya i raschet). [Reinforced concrete and stone structures (Part 1. Materials, design, theory and calculation)]. M.: Vysshaya shkola. P. 286.
6. Pastushkov, G. P. (1994) Mnogoetazhnye karkasnye zdaniya s nesushchimi zhelezobetonnyimi tsentrifugirovannymi elementami: avtoref. dis.... dokt. tekhn. nauk: 05.23.01, 05.23.05. [Multi-storey frame buildings with load-bearing reinforced concrete centrifuged elements. Abstract of the Ph. D. thesis.]. BGPA, Minsk. P. 36.
7. Shtaerman, Yu. A. (1933) Tsentrifugirovannyi beton. [Centrifuged concrete]. Tiflis: Tekhnika da Shroma. P. 106.

8. Kholodnyak, M. G. (2020) Sovershenstvovanie rascheta i tekhnologii sozdaniya vibrotsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn s uchetom variatropii struktury: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.01, 05.23.08. [Improving the calculation and technology for creating vibrocentrifuged reinforced concrete columns, taking into account the variatropy of the structure. Abstract of the Ph. D. thesis.]. DGTU, Rostov-na-Donu. P. 181.
9. Morgun, L. V. (2005) Strukturnoobrazovanie i svoistva fibropenobetonov neavtoklavnogo tverdeniya: avtoref. dis.... dokt. tekhn. nauk: 05.23.05. [Structure formation and properties of fiber foam concretes of non-autoclave hardening. Abstract of the Ph. D. thesis.]. RGSU, Rostov-na-Donu. P. 23.
10. Bulavin, V. A. (2004) Gazobeton dlya monolitnykh ograzhdayushchikh konstruksii s variatropnoi porovoi strukturoi: avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. [Aerated concrete for monolithic enclosing structures with a variotropic pore structure. Abstract of the Ph. D. thesis.]. RGSU, Rostov-na-Donu. P. 23.
11. Aivazyán, E. S. (2013) Tekhnologii sozdaniya i metody rascheta fibrobetonnykh i fibrozhelezobetonnykh elementov s agregirovannym raspredeleniem volokon: avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.01; 05.23.08. [Technologies for the creation and methods for calculating fiber-reinforced concrete and fiber-reinforced concrete elements with an aggregated distribution of fibers. Abstract of the Ph. D. thesis.]. RGSU, Rostov-na-Donu. P. 23.
12. Matus, E. P. (2000) Vozdeistvie magnitnogo polya na strukturu i svoistva tsementno-peschanogo stalefibrobetona: avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. [Influence of a magnetic field on the structure and properties of cement-sand steel-fiber-reinforced concrete. Abstract of the Ph. D. thesis.]. NGASU, Novosibirsk. P. 20.
13. Gil'man, E. D. (1979) Uluchshenie svoistv betona i zhelezobetona pri vozdeistvii postoyannogo toka malogo napryazheniya: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. [Improving the properties of concrete and reinforced concrete under the influence of direct current of low voltage. Abstract of the Ph. D. thesis.]. Rost. inzh.-stroit. in-t. Rostov-na-Donu. P. 203.
14. Stel'makh, S. A. (2014) Vliyanie parametrov maloenergoemkikh peremennykh elektricheskikh polei na svoistva aktivirovannykh teploizolyatsionnykh peno- i fibropenobetonov: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.01, 05.23.08. [Influence of the parameters of low-energy variable electric fields on the properties of activated heat-insulating foam and fiber foam concrete. Abstract of the Ph. D. thesis.]. Rost. gos. stroit. un-t. Rostov-na-Donu. P. 180.
15. Shcherban', E. M. (2014) Regulirovanie strukturnoobrazovaniya i svoistv teploizolyatsionnykh peno- i fibropenobetonov, aktivirovannykh maloenergoemkim peremennym elektrofizicheskim vozdeistviem, tekhnologicheskimi i retsepturnymi faktorami: dis.... kand. tekhn. nauk: 05.23.08, 05.23.05. [Regulation of structure formation and properties of heat-insulating foam and fiber foam concretes activated by low-energy variable electrophysical impact, technological and recipe factors. Abstract of the Ph. D. thesis.]. Rost. gos. stroit. un-t. Rostov-na-Donu. P. 216.
16. Shcherban', E. M., Tkachenko, G. A., Gol'tsov, Yu. I. and Stel'makh, S. A. (2012) O vliyanii obrabotki penobetonnoi smesi peremennym elektricheskim polem na svoistva penobetona. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. [On the influence of the processing of foam concrete mixture by an alternating electric field on the properties of foam concrete. Modern problems of science and education]. №1. P. 170.
17. Ovsyankin, V. I. (1971) Zhelezobetonnye truby dlya napornykh vodovodov (3-e izdanie). [Reinforced concrete pipes for penstocks (3rd edition)]. M.: Stroizdat. P. 320.
18. Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintshev, M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). Vol. 1. Pp. 500-503.
19. Bataev, D. K-S., S- A.Yu. Murtazayev, Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. (2019) Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). Vol. 1. Pp. 457-460.