

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ, СОДЕРЖАЩИХ ДЕМПФИРУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ, ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### Аннотация

*В статье представлены основные особенности технологии сухого формования железобетонных изделий для транспортных сооружений. Приведены результаты положительного влияния демпфирующих компонентов и добавок на структуру бетона транспортных сооружений и его физико-механические характеристики. Установлена возможность повышения прочности сцепления заполнителя с цементным камнем за счет повышения чистоты и шероховатости поверхности плотных заполнителей, а также применения пористых заполнителей. Результаты исследования показали, что неоднородность бетона, порождая возникновение микротрещин, задерживает их перерождение в опасные макротрещины, а наличие концентраторов напряжений в самой структуре материала делает его малочувствительным как к внешним концентраторам, так и ко вновь возникшим внутренним.*

*Ключевые слова: бетон, сухое формование, прочность, цементная матрица, демпфирующие компоненты, кристаллогидратный сросток.*

M.V. DRAPALUK  
Vostochnoukrainskiy universitet Vi-Dalya, Severodoneck

## INVESTIGATION OF CONCRETE TECHNOLOGY HIGH LIFE CONTAINING DAMPS COMPONENTS FOR TRANSPORT FACILITIES

### Abstract

*The paper presents the main features of the technology dry molding concrete products for transport structures with damping components. The results of the positive impact damping components and additives on the concrete structure of transport facilities and its physical and mechanical characteristics. The possibility of increasing the adhesion strength aggregate with cement stone by improving cleanliness and surface roughness dense aggregates, as well as the use of porous aggregates. The results showed that the heterogeneity of concrete, creating the appearance microcracks, delays their rebirth in dangerous macrocracks, and the presence stress concentrators in the structure of the material makes it insensitive to both the external hub, and the newly formed internal.*

*Keywords: concrete, dry spinning, strength, cement matrix, damping components of crystalline splice.*

### Постановка проблемы

Общепризнано, что бетон для транспортных сооружений, несмотря на значительный срок его применения в строительстве, является наиболее сложным из всех искусственных материалов поэтому возникает повышенный интерес к его требованиям.

Несмотря на разнообразие материалов, которые применяются для производства железобетонных конструкции усложняется их выбор, для соответствия необходимому комплексу свойств. Такие задания не могут быть решены в полном объеме за счет синтеза новых видов модификаторов, так как это связано со значительными затратами. В связи с этим возникает необходимость поиска экономичных путей оптимизации свойств бетонов.

### Анализ последних исследований и публикаций

Влияние структуры бетона на его поведение под действием динамических нагрузок Ю.А. Нилендер, Л.И. Мильштейн, В.А. Невский, Ю.А. Пискунов и др. изучали на различных реологических моделях, согласно которым упругие свойства бетона характеризуются динамическим модулем упругости, неупругие - коэффициентом внутреннего трения [1]. Анализируя поведение модели бетона, авторы считали основной причиной разрушения бетона при ударе разрыв по растворной части и подчеркивали прямую зависимость ударной прочности бетона от свойств крупного заполнителя, и, в первую очередь, от его поглощающей способности. Одновременное увеличение коэффициента внутреннего трения раствора должно еще больше повысить сопротивление бетона ударным нагрузкам.

Оценку возможности описания механизма разрушения бетона при ударе с помощью реологических моделей дал Ю.М. Баженов [1]. Им показано, что даже самая сложная из известных реологических моделей бетона, прежде всего, отражает качественную сторону деформирования бетона. Кроме этого,

соответствующие той или иной модели уравнения справедливы только при одиночном ударе. При повторном нагружении этот закон уже неприменим.

Суммируя известные результаты исследований связи структуры и прочности бетона, можно определить следующие пути оптимизации его структуры с целью повышения трещиностойкости, ударной стойкости и долговечности.

1. Снижение жесткости заполнителей бетона за счет использования плотных заполнителей средней жесткости (типа известнякового щебня) и легких заполнителей (шлаковой пемзы, керамзита). Однако указанные бетоны могут иметь пониженную по сравнению с тяжелыми бетонами на плотных и прочных заполнителях прочность при сжатии.

2. Снижение концентрации плотных заполнителей за счет раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором и мелкого – цементным камнем.

3. Повышение прочности сцепления заполнителя с цементным камнем за счет повышения чистоты и шероховатости поверхности плотных заполнителей, а также применения пористых заполнителей.

4. Использование бетонов на смешанных крупных и мелких заполнителях, а также комбинированных бетонов, в качестве вяжущих в которых используются портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, пуццолановый и другие виды смешанных цементов.

Наиболее оптимально последнее предложение, являющееся фактически комбинацией первых трех приемов. Его реализация позволяет одновременно устранить отмеченные недостатки и максимально снизить дефектность бетона.

### **Формирование цели исследования**

Целью исследований является повышение долговечности бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений за счет модифицирования состава бетонной смеси для обеспечения полифункциональности процесса структурообразования бетона.

Состав и технология приготовления бетонных смесей определяют прочность и долговечность железобетонных конструкций, поэтому повышение эффективности производства конструкций предусматривает оптимизацию всей совокупности «состав – технология – структура – свойства». Бетон в силу неоднородности цементного камня, качества и распределения заполнителей имеет неупорядоченную структуру.

Одним из путей оптимизации структуры бетона является разработка модифицированных бетонов сухого формования с демпфирующими компонентами. Актуальность проведенных исследований заключается в разработке технологии бетона сухого формования с демпфирующими компонентами для транспортных сооружений.

### **Изложение основного материала исследования**

Особенностью способа сухого бетонирования заключается в том, что смесь вяжущего и заполнителей сначала укладывают в форму, уплотняют и подвергают тепловлажностной обработке, предварительно зафиксировав объем отформованного изделия. Такая технология устраняет зависимость удобоукладываемости бетонной смеси от водопотребности песка и сроков схватывания цемента. Применение способа сухого формования железобетонных изделий с демпфирующими компонентами позволит повысить эксплуатационные характеристики бетона конструкции.

Цементная матрица - носитель прочности бетона - содержит поры различных размеров, которые существенно снижают прочностные свойства бетона [2].

Значительное различие цементной матрицы и заполнителей бетона по прочностным и упругим характеристикам определяется тем обстоятельством, что плотные заполнители тяжелого бетона, в т.ч. кварцевый песок, не обладают идеальной совместимостью с традиционной цементной матрицей, имеющей модуль упругости  $(8...20) \cdot 10^3$  МПа, в силу своей высокой жесткости (модуль упругости до  $10^5$  МПа), приводящей к значительным усадочным напряжениям при твердении [3].

Отличительными признаками демпфирующих добавок являются их пониженные жесткостные характеристики, определяемые высокой пористостью материала. Введение в бетон таких добавок, снижающих концентрацию напряжений на границе раздела фаз с различными упругими характеристиками, существенно уменьшает размах колебаний и пределы изменений максимальной и минимальной деформации и напряжений в процессе разрушения бетона.

Исследование процессов твердения бетона сухого формования с демпфирующими компонентами осуществлялось по определению прочности, деформативных характеристик и поровой структуры.

По П.Г. Комохову [3], механизм действия демпфирующих добавок состоит в том, что на пути растущей трещины возникает энергетический гаситель в виде микровключения. Такое включение не способно отдавать полученную энергию, затраченную на его деформирование. Тем самым уменьшается энергия роста трещины и релаксируют напряжения в ее вершине. Наличие в структуре бетона упруго-вязких включений - низкомолекулярных добавок демпфирующего действия как релаксаторов внутренних напряжений и энергетических гасителей трещин - обеспечивает повышение прочности, трещиностойкости и морозостойкости бетона.

Подытожить сказанное можно словами А.А. Гвоздева [4], который отметил, что «неоднородность бетона, порождая возникновение микротрещин, задерживает их перерождение в опасные макротрещины, а наличие концентраторов напряжений в самой структуре материала делает его малочувствительным как к внешним концентраторам, так и ко вновь возникшим внутренним».

Суммируя известные результаты исследований связи структуры и прочности бетона, можно определить следующие пути оптимизации его структуры с целью повышения трещиностойкости, ударной стойкости и долговечности.

1. Снижение жесткости заполнителей бетона за счет использования плотных заполнителей средней жесткости (типа известнякового щебня) и легких заполнителей (шлаковой пемзы, керамзита). Однако указанные бетоны могут иметь пониженную по сравнению с тяжелыми бетонами на плотных и прочных заполнителях прочность при сжатии.

2. Снижение концентрации плотных заполнителей за счет раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором и мелкого – цементным камнем.

3. Повышение прочности сцепления заполнителя с цементным камнем за счет повышения чистоты и шероховатости поверхности плотных заполнителей, а также применения пористых заполнителей.

4. Использование бетонов на смешанных крупных и мелких заполнителях, а также комбинированных бетонов, в качестве вяжущих в которых используются портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, пуццолановый и другие виды смешанных цементов.

В настоящее время известны исследования и опыт использования в бетонных смесях минеральных и органических маложестких поризованных компонентов (добавок) различной дисперсности: от дисперсности вяжущего до размеров мелкого и крупного заполнителей. Это портландцемент с минеральными добавками и пуццолановый портландцемент, растворы и бетоны на смешанных и комбинированных заполнителях. Перечисленные материалы отличаются экономией клинкерной части (при использовании тонкодисперсных минеральных добавок), пониженной плотностью бетона при использовании смешанных заполнителей), повышенной трещиностойкостью, морозостойкостью, в ряде случаев - прочностью при растяжении. Обобщая результаты исследований, проведенных до настоящего времени в этой области, целесообразно дифференцировать такие компоненты в зависимости от их дисперсности. В соответствии с этим можно выделить тонкодисперсные компоненты (добавки) с удельной поверхностью 50...300 м<sup>2</sup>/кг; компоненты с размерами мелкого заполнителя - песка; компоненты с размерами крупного заполнителя.

К тонкодисперсным компонентам с удельной поверхностью 50...300 м<sup>2</sup>/кг относятся инертные и активные минеральные наполнители, снижающие стоимость цемента без существенного ухудшения его характеристик. Условность такого деления обусловлена тем, что до сих пор нет единого мнения о степени гидравлической активности тех или иных тонкодисперсных минеральных добавок [3-4]. Несмотря на это, можно констатировать факты увеличения плотности бетона, уменьшения деформаций усадки и набухания, повышения водостойкости и антикоррозионных свойств бетона с тонкомолотыми минеральными добавками.

Минеральные добавки являются составной частью композиционных цементов, шлакопортландцемента, пуццоланового портландцемента и некоторых других видов специальных цементов. Характеризуя пуццолановые цементы, С.М. Рояк и Г.С. Рояк подчеркивают, что они отличаются от портландцемента способностью к пластическим деформациям во влажных условиях, вследствие чего бетоны на пуццолановых цементах отличаются высокой трещиностойкостью [6].

Как известно, пуццолановые портландцементы отличаются от портландцемента замедленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения. При длительном твердении бетона содержание пуццоланы благоприятно сказывается на структуре цементной матрицы бетона и приводит к тому, что прочность бетона на пуццолановых цементах приближается к прочности бетона на портландцементе такой же марки, а иногда может быть и выше.

Следует отметить, что активность портландцемента с инертными и активными минеральными добавками снижается не пропорционально количеству добавки. Так, при введении 50% микронаполнителя активность цемента снижается на 20...40%, поэтому в ряде случаев применение микронаполнителей оказывается экономически выгодным за счет повышения эффективности использования портландцементного клинкера.

Сущность способа сухого формирования заключается в том, что сухую бетонную смесь уплотняют в форме или опалубке и после этого насыщают водой. Расход компонентов рассчитывают таким образом, чтобы обеспечить минимальную пустотность и снизить количество воды при насыщении смеси.

Г.М. Хуторцов совместно с Н.В. Михайловым, П.А. Ребиндером и др. [7-8] показал, что поскольку при насыщении водой происходит «набухание» бетонной смеси и снижение ее структурной плотности, то перед насыщением объем уплотненной смеси необходимо фиксировать. Так как сухие смеси обладают при вибрации высокой удобоукладываемостью, то возможно применять весьма однородные мелкозернистые смеси, характеризующиеся оптимальной с точки зрения физико-химической механики и теории твердого тела структурой. При правильно подобранном гранулометрическом составе заполнителей возможно получение бетонов весьма высокой плотности, прочности и морозостойкости. Г.М. Хуторцовым показано

также, что количество воды, поглощенной сухой смесью, зависит от состава и качества уплотнения смеси и может составлять величину, соответствующую  $V/C=0,15...0,2$ .

Образцы такого бетона имели прочность более 70 МПа, выдерживали более 200 циклов замораживания и оттаивания, не пропускали воздух и бензин при давлении более 1,5 МПа. Им же установлена зависимость плотности укладки частиц бетонной смеси от их влажности. Проведено сравнение и показано преимущество ударного способа уплотнения сухих смесей по сравнению с вибрированием и одностороннего вакуумирования при водонасыщении по сравнению с капиллярным подсосом и напорной фильтрацией.

И.П. Овчинниковым и др. [9] установлено, что процесс водонасыщения можно значительно интенсифицировать, а поскольку при сухом формировании взаимодействие цемента с водой начинается после формирования смеси, т.е. в изделии, то сроки схватывания цемента не имеют значения и можно применять сверхбыстротвердеющие вяжущие или особо эффективные ускорители схватывания. При пропитке отформованных изделий углекислотой получена прочность в 2...6 МПа, что в ряде случаев достаточно для немедленной полной распалубки изделий [9]. Показана также повышенная эффективность мелких песков и сокращенных режимов тепловлажностной обработки, что вместе с возможностью немедленной распалубки переводит способ сухого формирования в разряд интенсивных ресурсосберегающих технологий.

Исследования показали, что скорость пропитки зависит не только от плотности упаковки, но и от дисперсности твердых компонентов, а также от вязкости жидкости. Это позволило предложить осуществлять пропитку горячей водой или паром. Установлено также, что в процессе пропитки в бетоне образуется и сохраняется направленная пористость, а поэтому предложено после водонасыщения повторно вибрировать свежотформованное изделие.

Основной технологической операцией способа сухого формирования является водонасыщение уплотненной смеси. Наиболее простой способ водонасыщения основан на использовании эффекта капиллярного подсоса и заключается в том, что форму с сухой смесью помещают в ванну с водой (пропитка снизу) или на поверхность смеси, укрытой каким-либо фильтром, наливают слой воды (пропитка сверху). Однако продолжительность водонасыщения этим способом смеси слоем от 10 до 30 см составила 90 и 300 мин соответственно. Этот способ характеризуется повышенными затратами времени может и быть рекомендован только для стендовой технологии.

Установлено, что при сухом формировании традиционный способ смазки форм водоземulsionными составами не всегда приемлем. При укладке сухой смеси в смазанную форму слой смазки частично переходит с формы в смесь, образуя пятна на готовом изделии. С целью комплексного решения проблемы подбирали такой материал для форм, который бы имел нулевую адгезию к бетону и не нуждался в смазке.

Опытами установлено, что оптимальным материалом для форм является полиэтилен. Образцы с прокладкой из него самопроизвольно разделялись при выемке из форм, поэтому подготовка опалубки к сухому формированию заключалась в оклейке формы полиэтиленовой пленкой. Использовали пленку толщиной 0,3 мм и гидроизоляционную эмаль, представляющую собой раствор хлорсульфированного полиэтилена в толуоле с добавкой стабилизатора. Перед нанесением покрытия формы очищают с помощью пескоструйного аппарата, затем кистью наносят слой эмали. Такой же слой эмали наносили на одну сторону пленки и через 30...40 мин приклеивали пленку к поверхности формы.

Так же было установлено, что коэффициент коррозионной стойкости бетона сухого формирования с добавкой демпфирующего компонента и извести и с пропиткой жидким стеклом достиг величины 0,91. Не снижает добавление извести и жидкого стекла стойкость бетона и в мягких водах, что объясняется более высокой плотностью модифицированного бетона и взаимным связыванием извести и жидкого стекла.

### **Выводы**

- По сравнению с радиальным прессованием сухое формирование позволяет:
- сократить время перемешивания бетонной смеси с 2,5 до 1,25 мин;
  - сократить продолжительность уплотнения с 8 мин (время работы формующей головки) до 30 с (время работы виброплощадки);
  - отказаться от пропаривания и установки пропарочной камеры за счет разогрева сухой смеси при сушке и увлажнении, за счет термосного выдерживания изделий в течение 75 мин и применения раствора жидкого стекла в качестве ускорителя схватывания;
  - устранить потери бетонной смеси, составляющие при радиальном прессовании до 15% из-за осыпания на поддон и удаления. При сухом формировании форма неразъемная и все, что отделилось от изделия при его выемке, остается в форме и участвует в формировании следующего изделия;
  - использовать мелкие пески и крупные фракции крупного заполнителя, в результате чего снижается расход цемента до 15%. При радиальном прессовании, как известно, применяются только мелкозернистые бетонные смеси.

### **Список использованной литературы**

1. Баженов Ю.М. Высококачественный тонкозернистый бетон / Ю.М. Баженов // Строительные материалы. - 2000. - № 2. - С. 24-25.

2. Гусев Б.В. Вибрационная технология бетона /Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко. – К: Будівельник, 1991. – 163 с.
3. Комохов П.Г. Технологические свойства бетонной смеси с пластификатором Л-1 / Комохов П.Г., Сычев М.М., Курашев М.И. Современная технология производства работ в строительстве. Материалы семинара. - Л. - 1983. - С. 33-37.
4. А.А. Гвоздев Прочность, структурные изменения и деформации бетона / А.А. Гвоздев // НИИЖБ Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1987. - 299 с.
5. Курасова Л.П. Роль пористого заполнителя в формировании микроструктуры и прочностных свойств керамзитобетона. / Курасова Л.П. – М.: Стройиздат, 1978. – 176 с.
6. Рояк С.М., Специальные цементы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Рояк С.М., Рояк Г.С.;– М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.
7. Хуторцов Г.М. Новый способ получения высокоплотных бетонов / Хуторцов Г.М. // Бетон и железобетон. – 1991. - № 4. – С. 18-20.
8. Хуторцов Г.М., Об оптимальной структуре бетона и условиях ее формирования. / Хуторцов Г.М., Михайлов Н.В., Ребиндер П.А. – ДАН СССР. – 1976. - Т. 170. - № 3. - С. 648-651.
9. Овчинников И.П. Универсальное устройство для исследования процессов формования смесей / Овчинников И.П. // Известия ВУЗов. Строительство и Архитектура. – 1977. - № 4. - С. 134-137.

#### *Анотація*

*У статті представлені основні особливості технології сухого формування залізобетонних виробів для транспортних споруд. Наведені результати позитивного впливу демпфуючих компонентів і добавок на структуру бетону транспортних споруд та його фізико-механічні характеристики. Встановлена можливість підвищення міцності зчеплення заповнювача з цементним каменем за рахунок підвищення чистоти і жорсткості поверхні цільних заповнювачів, а також застосування пористих заповнювачів. Результати дослідження показали, що неоднорідність бетону, породжуючи виникнення мікротріщин, затримує їх переродження в небезпечні макротріщини, а наявність концентраторів напруги в самій структурі матеріалу робить його малочутливим як до зовнішніх концентраторів, так і до внутрішніх.*

*Ключові слова: бетон, сухе формування, міцність, цементна матриця, демпфуючі компоненти, кристалогідратний зросток.*