

ДЕКОРАТИВНЫЕ БЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЛЯ ГОРОДСКОГО И ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Разработан декоративный бетон повышенной долговечности для городского и транспортного строительства с улучшенными физико-механическими свойствами. Изучено влияние синтетических порошковых железистых пигментов и добавок-модификаторов на свойства и структуру бетона.

Ключевые слова: декоративный бетон, железистые порошковые пигменты, долговечность, морозостойкость, экспериментально-статистическое моделирование

В современном городском и транспортном строительстве все больше внимания уделяется эстетическим качествам зданий и сооружений, в том числе их отдельных элементов. Для ряда конструкций, широко используемых в городском и, особенно, транспортном строительстве, их наружная отделка отдельным «накрывающим» слоем не производится или же ограничивается поверхностной покраской. К таким изделиям можно отнести бордюрные камни, железобетонные столбики, опоры мостовых переходов и путепроводов, отдельные элементы полноборных остановочных комплексов, а также широкую гамму формуемых непосредственно на месте монолитных конструкций. Поверхностная покраска подобных элементов является достаточно недолговечной ввиду сложных условий эксплуатации материала – действие воды, солнечных лучей, замораживание и оттаивание, истирание, динамические нагрузки и прочее. В таких условиях происходит быстрое шелушение или истирание как самого слоя краски, так и поверхностного слоя бетона конструкции. Таким образом, более долговечными методами придания архитектурной выразительности подобным элементам является форма, фактура и цвет самих бетонных конструкций [1,2].

Применение декоративных бетонов в последние годы возрастает, так как данные материалы обладают значительными возможностями обработки поверхности и формы, разнообразием текстуры, которая по-разному проявляется в зависимости от крупности и качества заполнителей и степени их обнажения [3]. Для изготовления декоративных, в частности, цветных бетонов, может применяться как обычный портландцемент, так и шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент, а также белый или цветной цемент [4]. Большие декоративные возможности дают белый и цветной цементы [5], но они характеризуются повышенной усадкой при

твердении и сниженной морозостойкостью [4], что негативно сказывается на долговечности конструкций.

Мировой опыт производства декоративных бетонов показал, что наиболее качественными являются материалы с применением синтетических порошковых пигментов, благодаря которым возможно получение практически любых цветовых гамм. Порошковые пигменты могут применять как в сочетании с белым, так и обычным «серым» портландцементом [6]. На данный момент известна достаточно широкая номенклатура пигментов, предлагаемых современной промышленностью. На практике выбор пигментов чаще всего обусловлен наличием того или иного вида порошка на рынке с учетом конечных требований к характеристикам и свойствам окрашенной конструкции. В некоторых случаях выбор регламентируется технологией применения порошка. Химический состав пигментов определяет их основные характеристики: непосредственно цвет, химическую стойкость, коррозионную стойкость и термостойкость [7].

Получение декоративного бетона с высокими уровнями технологичности, прочности и долговечности позволит шире применять данный вид материалов в городском и транспортном строительстве. Соответственно, целью исследований было повышение долговечности декоративного бетона с порошковыми пигментами за счет улучшения его физико-механических свойств, в частности морозостойкости.

При исследовании свойств декоративного бетона проводился планированный эксперимент [8]. Использовался план типа «треугольники на квадрате» с пятнадцатью опытными точками. В качестве смесевых факторов был принят вид пигмента (v_1 – красный, v_2 – синий, v_3 – желтый). Применялись следующие синтетические порошковые неорганические пигменты производства компании Procter Johnson (Великобритания): пигмент железноокисный красный PJ130 – оксид железа Fe_2O_3 в форме гематит; пигмент железноокисный желтый PJ920 – моногидрат окиси железа (III) $FeO(OH)$ в форме гетита; пигмент синий PJ513 на основе оксидов железа – содержит оксид железа, моногидрат окиси железа и карбонат кальция.

Выбор таких пигментов обусловлен тем, что за счет использования только трех цветов первого порядка (основных): желтого, красного и синего возможно создание практически любого цвета или оттенка [9].

Независимыми факторами были приняты:

- X_4 общее количество пигмента от 5 до 25 кг/м³;
- X_5 количество портландцемента от 400 до 600 кг/м³.

Во все смеси вводился комплексный модификатор Пенетрон А (2% от массы цемента) + суперпластификатор С-3 (0.8% от массы цемента) [10]. Данный модификатор позволяет значительно повышать долговечность бетонов, в том числе, применяемых в дорожном строительстве [11]. Помимо 15-ти декоративных бетонов исследовались три контрольных состава бетона без пигмента при количестве портландцемента соответственно 400, 500 и 600 кг/м³.

Все смеси исследованных бетонов имели равную подвижность (ОК=16..18 см), что достигалось изменением количества воды затворения. При увеличении количества цемента В/Ц смеси, естественно, снижается, а при введении пигментов незначительно увеличивается. Анализ влияния вида пигмента на В/Ц показал, что синий и, в особенности, желтый пигмент, как наименее плотный, имеют несколько более высокую водопотребность по сравнению с красным.

В рамках исследований был построен комплекс экспериментально-статистических (ЭС) моделей [12], в том числе приведенная ниже ЭС-модель, отображающая влияние состава декоративного бетона на его прочность при сжатии:

$$f_{ck,cube}(MPa) = 57.05 \cdot v_1 + 6.08 \cdot v_1 \cdot v_2 + 2.48 \cdot v_1 \cdot v_3 - 1.83 \cdot v_1 \cdot x_4 + 9.87 \cdot v_1 \cdot x_5 \pm 0 \cdot x_4^2 \pm 0 \cdot x_4 \cdot x_5 \\ + 55.32 \cdot v_2 + 8.77 \cdot v_2 \cdot v_3 - 2.00 \cdot v_2 \cdot x_4 + 9.08 \cdot v_2 \cdot x_5 + 5.04 \cdot x_5^2 \\ + 54.84 \cdot v_3 - 2.62 \cdot v_3 \cdot x_4 + 8.28 \cdot v_3 \cdot x_5 \quad (1)$$

По данной модели построена диаграмма типа «треугольники на квадрате», показанная на рис.1. Как видно из диаграммы, прочность при сжатии исследованных бетонов находилась в пределах от 55 до 75 МПа, при этом на величину прочности влияет преимущественно количество портландцемента. При увеличении количества порошкового пигмента прочность несущественно снижается. Однако важно проанализировать не только саму прочность исследованных декоративных бетонов, а изменение данного показателя при введении пигментов. За счет сравнения свойств декоративных бетонов со свойствами аналогичных составов без пигментов был сделан вывод, что при введении до 15 кг/м³ пигмента прочность изменяется не более чем на 5%. Повышение количества пигмента до 25 кг/м³ снижает величину прочности бетона на 7-8%, что обусловлено повышением водопотребности смеси, соответственно бетоны с желтым пигментом имеют несколько меньшую прочность. В целом, прочностные свойства полученных материалов удовлетворяют самым высоким требованиям к бетонам для городского и транспортного строительства.

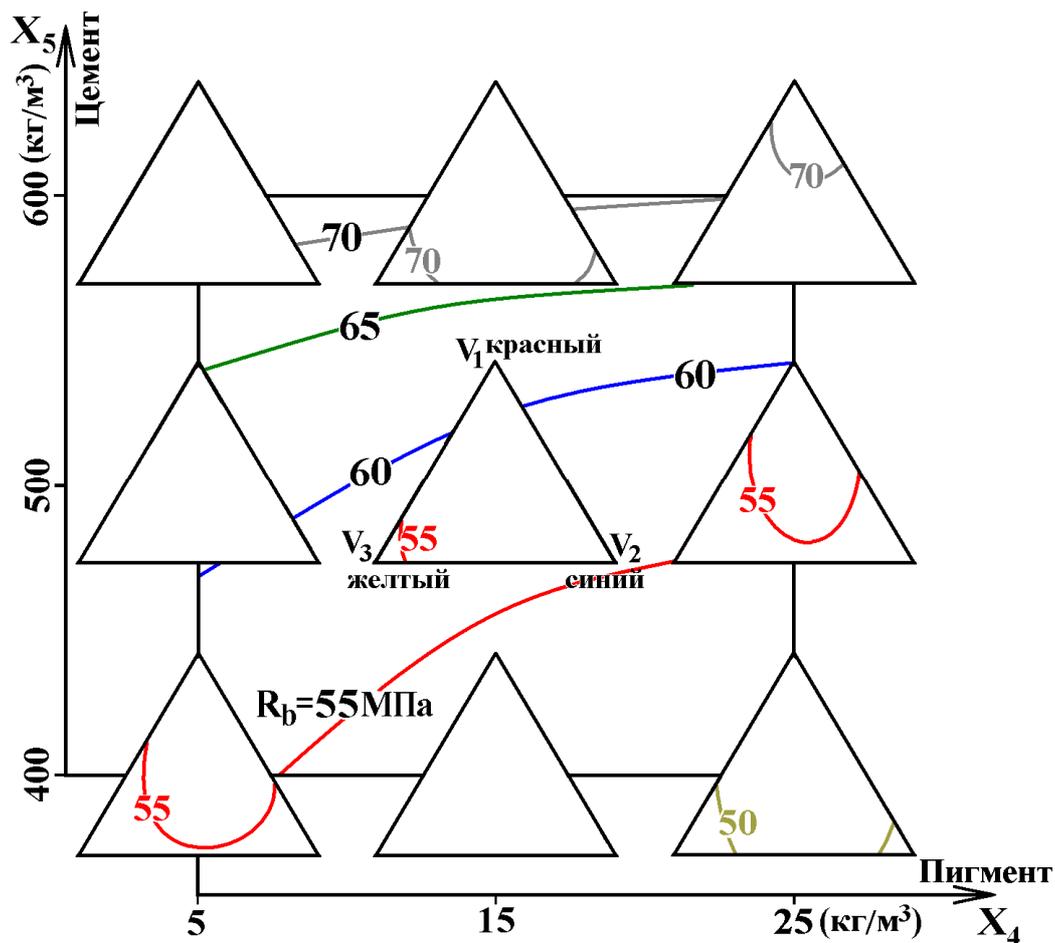


Рис.1 Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии декоративного бетона (МПа)

В климатических условиях Украины одной из основных причин разрушения бетона в процессе эксплуатации является действие попеременного замораживания и оттаивания. Влияние количества портландцемента, а также количества и вида пигмента на морозостойкость исследованных декоративных судостроительных бетонов, описывает приведенная ниже ЭС-модель ($s_3=4$ цикла):

$$\begin{aligned}
 F(\text{циклы}) = & 514 \cdot v_1 \pm 0 \cdot v_1 \cdot v_2 - 58 \cdot v_1 \cdot v_3 - 6 \cdot v_1 \cdot x_4 + 49 \cdot v_1 \cdot x_5 - 70 \cdot x_4^2 - 17 \cdot x_4 \cdot x_5 \\
 & + 499 \cdot v_2 \pm 0 \cdot v_2 \cdot v_3 - 10 \cdot v_2 \cdot x_4 + 48 \cdot v_2 \cdot x_5 - 30 \cdot x_5^2 \\
 & + 448 \cdot v_3 - 16 \cdot v_3 \cdot x_4 + 44 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \quad (2)$$

По ЭС-модели (2) была построена диаграмма типа «треугольники на квадрате», показанная на рис.2. При анализе влияния варьируемых факторов состава на морозостойкость исследованных декоративных бетонов следует учитывать, что методика определения уровня F предполагает дискретность между отдельными марками в 50 циклов, что составляет около 12% от среднего значения. Ввиду этого, переход уровня

свойства происходит «скачкообразно», что не позволяет отслеживать незначительные эффекты. Анализ модели (2) и диаграммы на рис.2 позволяет констатировать, что все исследованные составы имели достаточно высокий уровень морозостойкости – не ниже 350 циклов, что обусловлено применением комплексной добавки Пенетрон А + С-3 [10-13]. При этом на морозостойкость бетонов в наибольшей степени влияет количество портландцемента – за счет повышения дозировки вяжущего с 400 до 600 кг/м³ уровень F возрастает примерно на 100 циклов практически независимо от количества и вида пигмента.

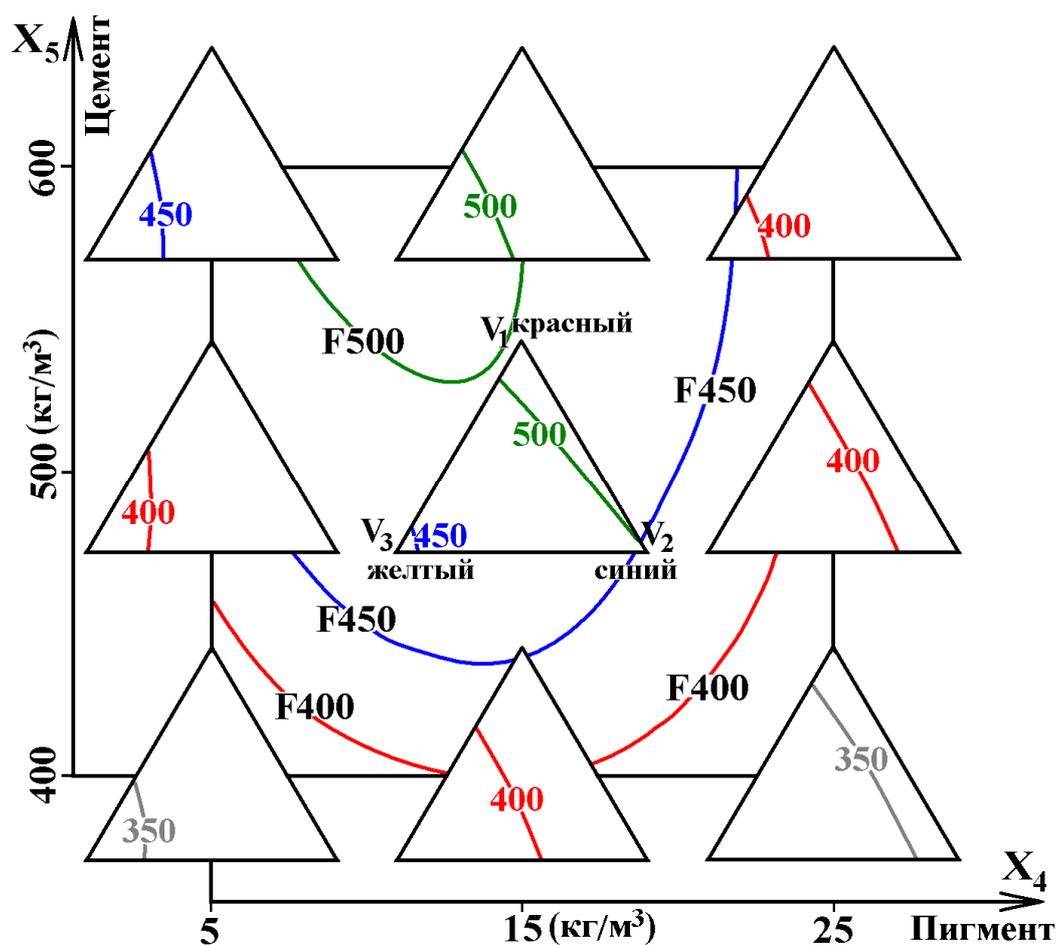


Рис.2 Влияние варьируемых факторов состава на морозостойкость декоративного бетона (циклы)

Влияние же применяемых железистоокисных пигментов на морозостойкость бетона неоднозначно – при увеличении количества пигмента с 5 до 15 кг/м³ уровень морозостойкости декоративного бетона возрастает на величину до 50 циклов. Дальнейшее же повышение количества порошкового пигмента (до 25 кг/м³) уже на 50 и более циклов снижает морозостойкость бетона по сравнению с составами со средним (около 15 кг/м³) количеством пигмента. Данный эффект можно объяснить

влиянием пигментов на поровую структуру бетона в качестве наполнителей, оптимальное количество которых при рациональной дисперсности улучшает структурные характеристики композиционного материала. Влияние вида пигмента на морозостойкость исследованных декоративных бетонов достаточно однотипно – составы с v_3 (желтым красителем) или преимущественно с желтым показывают примерно на 50 циклов меньшую морозостойкость по сравнению с составами с v_1 и (или) v_2 , что можно объяснить повышенным значением В/Ц при введении наименее плотного моногидрата окиси железа (желтого красителя).

Сопоставление уровня F декоративных бетонов с уровнями данного показателя для контрольных составов позволили сделать вывод, что морозостойкость декоративных бетонов отличается от морозостойкости контрольных бетонов аналогичных составов до 20%. При этом составы, в которые вводилось около $5..9 \text{ кг/м}^3$ пигмента, показывают морозостойкость практически равную морозостойкости контрольных составов. При использовании $12..18 \text{ кг/м}^3$ пигментов v_1 и v_2 уровень F для декоративных бетонов оказывается даже на 10..20% выше морозостойкости контрольных бетонов, что составляет около 50 циклов. Ощутимое снижение уровня F , до 20%, что также составляет около 50 циклов, наблюдалось только при введении 20 кг/м^3 и больше моногидрата окиси железа (v_3) или смеси с преимущественно v_3 .

Таким образом, морозостойкость полученных бетонов удовлетворяет самым высоким требованиям к конструкционным материалам для городского и транспортного строительства, что обеспечивает его долговечность.

Для декоративных бетонов одним из наиболее важных показателей качества является цветовая гамма. Необходимо отметить, что ввиду использования рядовых «серых» цементов для бетонов цветовая гамма получаемых композитов является более темной и несколько более узкой, по сравнению с цветными бетонами на белом цементе. Для объективной оценки цвета бетона все образцы были сфотографированы при одинаковом освещении, после чего был усреднен цвет материала. Для усредненного цвета были замерены характеристики цвета, анализ которого показал, что достаточная яркость цвета достигается при количестве пигмента от 15 кг/м^3 , при этом наиболее эффективны составы с одним пигментом и двухкомпонентные смеси с желтым пигментом. При увеличении количества цемента бетон получает более темный оттенок. Важно отметить, что даже при нарушении поверхностного слоя бетона в результате морозных или иных воздействий, за счет объемного окрашивания материал не утратил своих декоративных свойств.

Для бетонов, эксплуатируемых при постоянном влиянии атмосферных воздействий, одним из важных показателей качества, обеспечивающих долговечность и коррозионную стойкость, является водонепроницаемость. Все исследованные декоративные бетоны показали достаточно высокий уровень водонепроницаемости – от W10 до W16, что обусловлено введением в их состав комплексного модификатора Пенетрон А + С-3. Анализ индивидуального влияния пигментов на водонепроницаемость позволяет сказать, что наименьшие уровни W наблюдаются у составов с желтым красителем. Сравнение водонепроницаемости декоративных бетонов с контрольными показало, что независимо от вида пигмента при его количестве до 15 кг/м³ уровень W декоративных составов не ниже водонепроницаемости контрольных составов.

Конструкции транспортных сооружений в процессе эксплуатации подвергаются различным динамическим и истирающим воздействиям, поэтому важными показателями качества для них также являются трещиностойкость, ударостойкость и истираемость бетона. Проведенные исследования показали, что ударостойкость декоративных бетонов при варьировании состава изменялась в пределах от 7 до 8.5 Дж/см² и при введении пигментов несколько повышалась, что объясняется их влиянием на микроструктуру как наполнителей. Введение 12..15 кг/м³ пигмента также увеличивает трещиностойкость декоративных бетонов и не влияет на их истираемость.

Таким образом, разработанные составы декоративных бетонов для городского и транспортного строительства обладают высокой прочностью, трещиностойкостью, износостойкостью, морозостойкостью и водонепроницаемостью, что обеспечивает их долговечность. Данные бетоны могут широко применяться для улучшения эстетических характеристик различных конструкций и элементов как в городской среде, так и на автодорогах.

Литература

1. Попов Л.Н. Новые отделочные и декоративные материалы в строительстве XXI века. Часть 1 / Л.Н. Попов. – Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2005, №10. – С. 26-27.
2. Ефимов А.В. Колористика города / А.В. Ефимов. – М.: Стройиздат, 1990 – 272 с.
3. Айрапетов Д.П. Архитектурное материаловедение: Учебник для вузов / Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1983. – 310 с.
4. Дворкін Л.Й. Опоряджувальні будівельні матеріали / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін. – Рівне: вид-во НУВГП, 2011. – 291 с.

5. Атакузиев Т.А. Цветные цементы по малоэнергоёмкой технологии / Т.А. Атакузиев, Т.В. Кузнецова, М.И. Искандарова. – Ташкент: ФАН, 1988. – 104 с.

6. Huber J. Decorative Concrete. 2nd edition / J. Huber – Menlo Park, Calif.: Sunset Pub. Co., 2007 – 192 p.

7. Корсунский Л.Ф. Неорганические пигменты. Справочник / Л.Ф. Корсунский, Т.В. Калининская, С.Н. Степин. – СПб.: Химия, 1992. – 334 с.

8. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.

9. Иттен И. Искусство цвета. Пер. с немецкого; 5-е издание; / Иоханнес Иттен. – М.: Изд. Д.Аронов, 2008. – 96 с.

10. Патент № 19814, Україна, Бетонна суміш з добавками Пенетрон А + С-3 / Дорофєєв В.С., Мишутін А.В., Романов О.А. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2006 р.

11. Гапоненко Е.А. Обеспечение долговечности бетона водопропускных и водоотводных сооружений на автомобильных дорогах / Е.А. Гапоненко, С.А. Кровяков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 26. – Рівне: НУВГП, 2013. – С.53-58.

12. Мишутин А.В. Применение декоративного бетона для сооружений, эксплуатируемых на море / А.В. Мишутин, С.Н. Петричко // Збірник наукових праць «Реставрація, реконструкція, урбокроргія RUR-2010», № 7-8. – Одеса: Optimum, 2010. – С. 249-252.

13. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.

Designed decorative concrete increased durability for urban and transport construction with improved physical and mechanical properties. The effect of synthetic iron oxide pigments and powder additives, modifiers on the properties and structure of the concrete.

Keywords: decorative concrete, iron oxide powder pigments, durability, frost-resistance, experimental-statistical modeling.

Розроблено декоративний бетон підвищеної довговічності для міського та транспортного будівництва з поліпшеними фізико-механічними властивостями. Вивчено вплив синтетичних порошкових залізоокисних пігментів і добавок-модифікаторів на властивості і структуру бетону.

Ключові слова: декоративний бетон, залізоокисні порошкові пігменти, довговічність, морозостійкість, експериментально-статистичне моделювання.