

УДК 666.972.16:691.327.536

Рыженко В.Х., к.т.н., доцент, ДальГАУ

Костюков Н.С., д.т.н., профессор; Рыженко А.В., к.т.н., доцент, АмГУ

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ ЦЕОЛИТОВ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящей работе рассматривается возможность использования золошлаковых отходов, золы уноса топливно-энергетических комплексов Амурской области и природных минералов – цеолитов в качестве добавок в бетоны.

Бетоны, получаемые на основе композиционного вещества (КВ) и имеющие в своем составе вяжущее, заполнитель и наполнитель – минеральные сырьевые добавки (ЗШО, зола-уноса, цеолитовый порошок) в зависимости от назначения и требований, предъявляемых к готовым бетонным изделиям, представляют собой затвердевшие смеси m из q различных веществ.

Рассматриваемая система – бетоны различных видов и составов, свойства которой зависят от соотношения компонентов $V=(V_1, V_2, \dots, V_q)$, представляет собой систему «состав – свойства» MQ , имеет вид

$$0 \leq V_i \leq 1, \sum_{i=1}^q V_i = 1. \quad (1)$$

Определение оптимального состава, свойств и технологических параметров приготовления бетонов на основе композиционного вяжущего с добавками минеральных наполнителей – золошлаковых отходов (ЗШО), золы-уноса и природных цеолитов, осуществлялось методами математического планирования эксперимента [1].

Объекты и методы исследований

Серии опытных образцов-призм размером 100x100x400мм изготавливали на портландцементе М400 завода Теплового озера из тяжелого мелкозернистого бетона на гранитном щебне фракции 10...20мм, с введением в состав композиционного вяжущего (КВ) золошлаковых отходов (ЗШО), золы-уноса и цеолита в количестве 10...20% от массы цемента, а также из легкого бетона на керамзитовом гравии фракции 10...20 мм с введением в состав КВ минеральной добавки цеолита с

удельной поверхностью $S_{уд.}=260\text{м}^2/\text{кг}$ в количестве 20% от массы цемента.

Призменная прочность контрольных образцов из тяжелого мелкозернистого и легкого бетона соответственно составляла $R_{в1}=26,7\text{МПа}$ и $R_{в2}=13,4\text{МПа}$ в возрасте 28 суток после тепловлажностной обработки (в пропарочной камере). При испытании контрольных образцов без добавок и с минеральными добавками (ЗШО, зола-уноса, цеолита) на деформативность образцы-призмы загружали в возрасте 28 суток после ТВО по стандартной методике НИИЖБ.

Результаты исследований по матрице плана экспериментов обрабатывались с помощью программы «MathCAD».

В качестве переменных факторов были выбраны:

– удельная поверхность портландцемента- $X_1, \text{м}^2/\text{кг}$;

– содержание минеральных добавок (ЗШО, золы-уноса, цеолита), вводимых в композиционное вяжущее (КВ) путем механического смешения смеси – $X_2, \%$ от массы цемента;

– содержание заполнителя (мелкозернистый щебень, фракция 5...10мм; песок речной с $M_{кр}=1,21$; керамзитовый гравий, фракция 5...15мм – $X_3, \text{кг}/\text{м}^3$).

Переменные факторы варьировались на трех уровнях: основном(0), верхнем (+1) и нижнем (-1).

В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие характеристики материала – бетона:

Y_1 – нормальная плотность композиционного вяжущего (КВ), %;

Y_2 – предел прочности при сжатии бетонных образцов на композиционном

вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки по мягкому режиму, МПа;

Y_3 – предел прочности при сжатии бетонных образцов на КВ после твердения в естественных условиях в течение 28 суток, МПа;

Y_4 – деформативность бетонных образцов на композиционном вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки по принятому режиму, МПа;

Y_5 – теплопроводность бетонных образцов (легкого бетона) на композиционном вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки по принятому режиму, Вт/(м⁰·с);

Y_6 – удельная электрическая прочность бетонных образцов (тяжелого и легкого бетонов) на композиционном вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки, Ом·м.

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения регрессии:

– для нормальной плотности вяжущего Y_1 , %:

$$Y_1 = 20,7 + 4,3X_1 + 1,65X_1^2 + 2,4X_1X_2 + 1,85X_1X_3 + 1,14X_2^2 + 0,85X_2X_3 + 7,3X_3 + 1,86X_3^2. \quad (2)$$

– предел прочности при сжатии Y_2 бетонных образцов на композиционном вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки по мягкому режиму, МПа:

$$Y_2 = 24,7 - 3,95X_1 - 15,74X_2 + 4,67X_3 - 4,86X_1^2 + 1,74X_3^2 - 2,55X_1X_2. \quad (3)$$

– предел прочности при сжатии Y_3 бетонных образцов на композиционном вяжущем (КВ) после твердения в естественных условиях в течение 28 суток, МПа:

$$Y_3 = 23,8 - 3,7X_1 - 14,8X_2 + 4,85X_3 - 4,73X_1^2 + 7,24X_2^2 - 1,97X_3^2 - 2,43X_1X_2. \quad (4)$$

– деформативность Y_4 бетонных образцов на композиционном вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки по принятому режиму, МПа:

$$Y_4 = 1,75 + 0,74X_1 + 0,96X_1^2 + 0,92X_1X_2 + 0,29X_1X_3 + 0,57X_2^2 + 0,87X_2^2 + 0,38X_2X_3 + 1,15X_3 + 0,93X_3^2. \quad (5)$$

– теплопроводность Y_5 бетонных образцов (легкого бетона) на композиционном вяжущем (КВ) после

теповлажностной обработки по принятому режиму, Вт/(м⁰·с):

$$Y_5 = 20,7 - 4,7X_1 - 13,8X_2 + 5,3X_3 - 4,3X_1^2 + 6,85X_2^2 - 1,35X_3^2 - 1,94X_1X_2. \quad (6)$$

– удельная электрическая проводимость Y_6 бетонных образцов (тяжелого и легкого бетона) на композиционном вяжущем (КВ) после тепловлажностной обработки, Ом·м:

$$Y_6 = 0,094 + 0,071X_2 + 0,018X_3 - 0,044X_1^2 + 0,077X_2^2 - 0,09X_3^2 + 0,056X_1X_3. \quad (7)$$

Описываемые уравнения регрессии (1-7) позволяют выявить степень влияния изменений X_i на конечные результаты Y_i . Отклонение расчетных данных от действительных значений этих параметров находится в пределах 7...10%, что допустимо.

Результаты исследований

На основании полученных уравнений были построены графические зависимости оптимизируемых параметров от наиболее значимых переменных факторов (рис. 1 – 4).

Анализ уравнения регрессии показал, что наибольшее влияние на нормальную плотность композиционного вяжущего (КВ) с добавлением минеральных сырьевых добавок (ЗШО, золы-уноса, цеолитов) оказывают введенные минеральные добавки в состав КВ.

Так, увеличение содержания в составе КВ золошлаковых отходов, золы-уноса с 20 до 40% от массы цемента снижает нормальную плотность композиционного вяжущего на 10...15% (рис. 1) и приводит к снижению прочности на сжатие бетонных образцов на 15...20% в сравнении с контрольными (рис.2). Снижение прочности происходит за счет увеличения основности гидросиликатов кальция и повышения доли гидроксида кальция.

Из графической зависимости на (рис.3) видно, что тепловлажностная обработка (ТВО) образцов при температуре 90⁰С является более эффективной для увеличения прочностных характеристик по сравнению с нормальными условиями твердения.

Нами установлено, что повышение удельной поверхности минерального порошка цеолита с 190...210 до

260...270м²/кг при постоянном соотношении всех компонентов в композиционном вяжущем приводит к увеличению пластичности цементного теста, то есть к снижению нормальной густоты КВ на 12...15%, что способствует контракции цементного камня твердеющего бетона и формированию более высокой плотности структуры.

Так как золошлаковые отходы (ЗШО) выраженными вяжущими свойствами не обладают, поэтому для увеличения их степени пуццоланизации в КВ вводили водный раствор суперпластификатора С-3 в количестве 0,35% от массы цемента.

Введение в состав КВ минеральных сырьевых добавок (ЗШО, золы-уноса, цеолитов природного происхождения) является целенаправленным формированием структуры цементного камня бетона и его капиллярно- порового пространства и получения бетонов более плотной структуры. На рисунке 4 показано влияние минеральных добавок (ЗШО, золы-уноса, цеолита) в составах КВ на деформативность различных видов бетонов.

Для измерения продольных и поперечных деформаций образцов, на боковых гранях по осям устанавливались тензорезисторы, показания с приборов снимались в течение 3 часов через каждые 20 минут, до полного разрушения образцов. Для получения зависимости $\sigma_x - \epsilon_x$ бетонные образцы загружали ступенями нагрузки (долями). Величина нагрузки на первых двух ступенях

составляла $\cong 0,05P_{РАЗР.}$ с выдержкой на каждой ступени 3 мин., на последующих ступенях – нагрузка составляла $0,1P_{РАЗР.}$. Результаты испытаний образцов на деформативность приведены в таблице 1 и рисунке 2. В каждой серии было изготовлено по три образца.

ВЫВОДЫ

Таким образом установлено, что интенсификация процесса поглощения других компонентов в КВ протекает по типу поверхностной диффузии; тяжелые и легкие бетоны с добавками ЗШО, золы-уноса по морозостойкости проявляют достаточно высокие показатели марок в пределах 105...125 циклов, не уступая контрольным образцам без добавок на портландцементе Теплоозерского завода М400; для более полного использования гидравлических свойств золошлаковых отходов (ЗШО), золы-уноса и природной минеральной добавки цеолита, тепловлажностная обработка бетонных изделий производится в течение 15.. 16 часов при температуре изотермического прогрева 85...90⁰С; тепловлажностная обработка бетонов с минеральными добавками (ЗШО, зола-уноса, цеолиты) положительно влияет на формирование структуры цементного камня, при этом уменьшается количество дефектов (уменьшаются размеры пор и их количество), тем самым увеличивается морозостойкость бетонов.

Таблица

Влияние минеральных сырьевых добавок (ЗШО, золы-уноса, цеолита) на деформативность и прочность бетона

Номер серии образцов и вид добавки в КВ	Средняя скорость деформирования, $v = \frac{\epsilon_x}{t} \cdot 10^6, \text{мин}^{-1}$	Напряжения в момент разрушения, σ_x , МПа	Время испытания, мин.	Относительные продольные деформации, $\epsilon_x \cdot 10^3$, при σ_x .
1-контрольные без добавок. Кл. В30 тяж. мелкозернистый	11,3	29,43	180	185
2-тяжелый мелкозернистый. Кл. В20 с добавкой 10% ЗШО от массы цемента.	10,5	18,7	185	193
3-тяжелый мелкозернистый Кл.20 с добавкой золы-уноса 20% от массы цемента	10,5	17,3	168	227

4-тяжелый бетон Кл.В20 с добавкой цеолита $S_{4y}=260\text{м}^2/\text{кг}$ -20% от массы цемента	10,5	18,3	174	190
5-легкий бетон Кл. В15 с добавкой цеолита 20% от массы цемента	10,5	13,8	157	249

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский, В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский [и др.] – Киев: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 328 с.

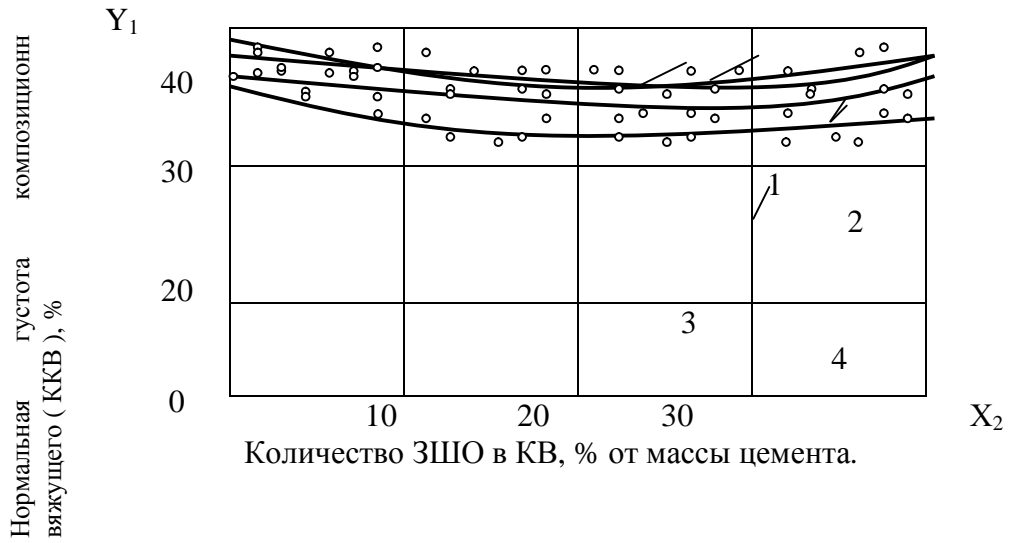


Рис. 1 Влияние удельной поверхности золошлаковых отходов (ЗПО), золы-уноса на нормальную густоту композиционного вяжущего (КВ), где 1,2,3,4- соответственно, удельная поверхность портландцемента ($500\text{ м}^2/\text{кг}$); КВ с добавкой золы-уноса $300\text{ м}^2/\text{кг}$ и С-3 – 0,35%; КВ с добавкой ЗПО $210\text{ м}^2/\text{кг}$ и С-3 – 0,35%; КВ с добавкой ЗПО $170\text{ м}^2/\text{кг}$ и С-3 – 0,35%.

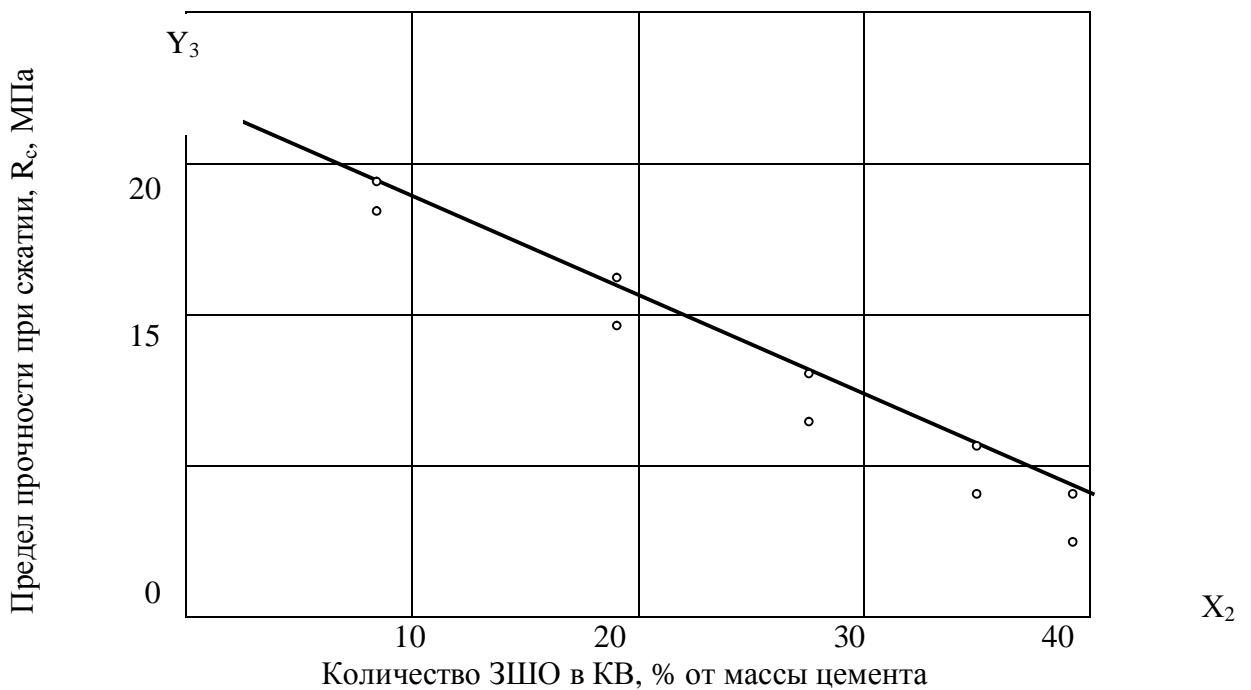


Рис. 2. Влияние количества золошлаковых отходов в составе КВ на прочность бетонных образцов из мелкозернистого бетона при содержании ЗПО от 0 до 40% от массы цемента, твердеющих в нормальных условиях при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$

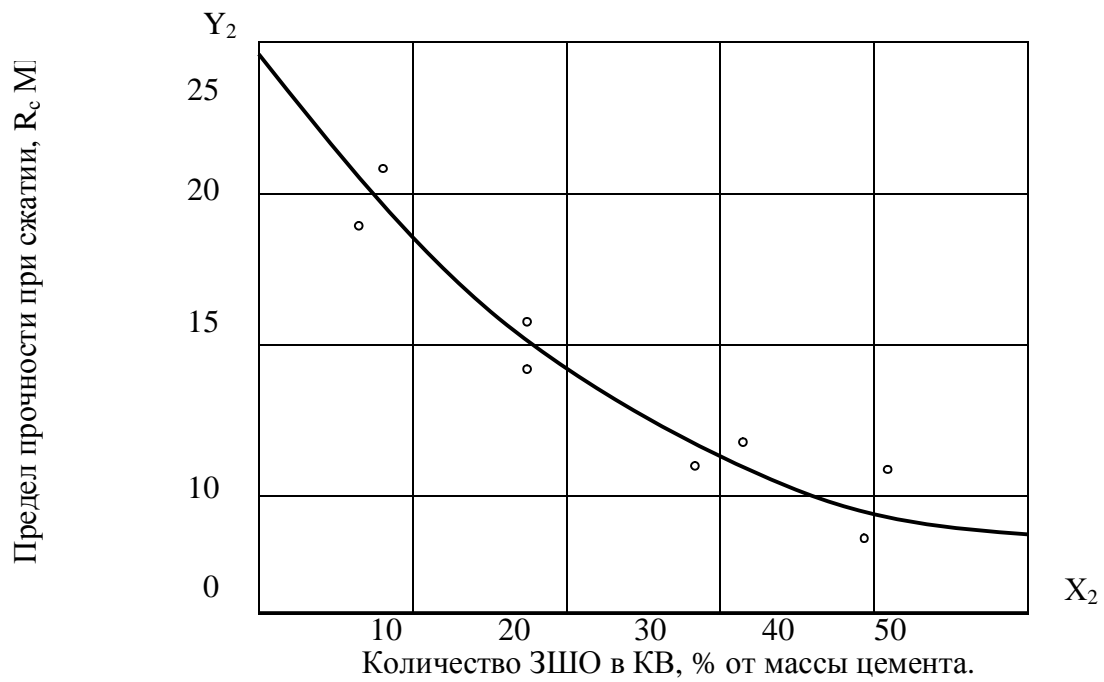


Рис. 3. Влияние количества золошлаковых отходов в составе КВ на прочность бетонных образцов из мелкозернистого бетона при содержании золошлаковых отходов от 0 до 40% от массы цемента, подвергнутых тепловлажностной обработке

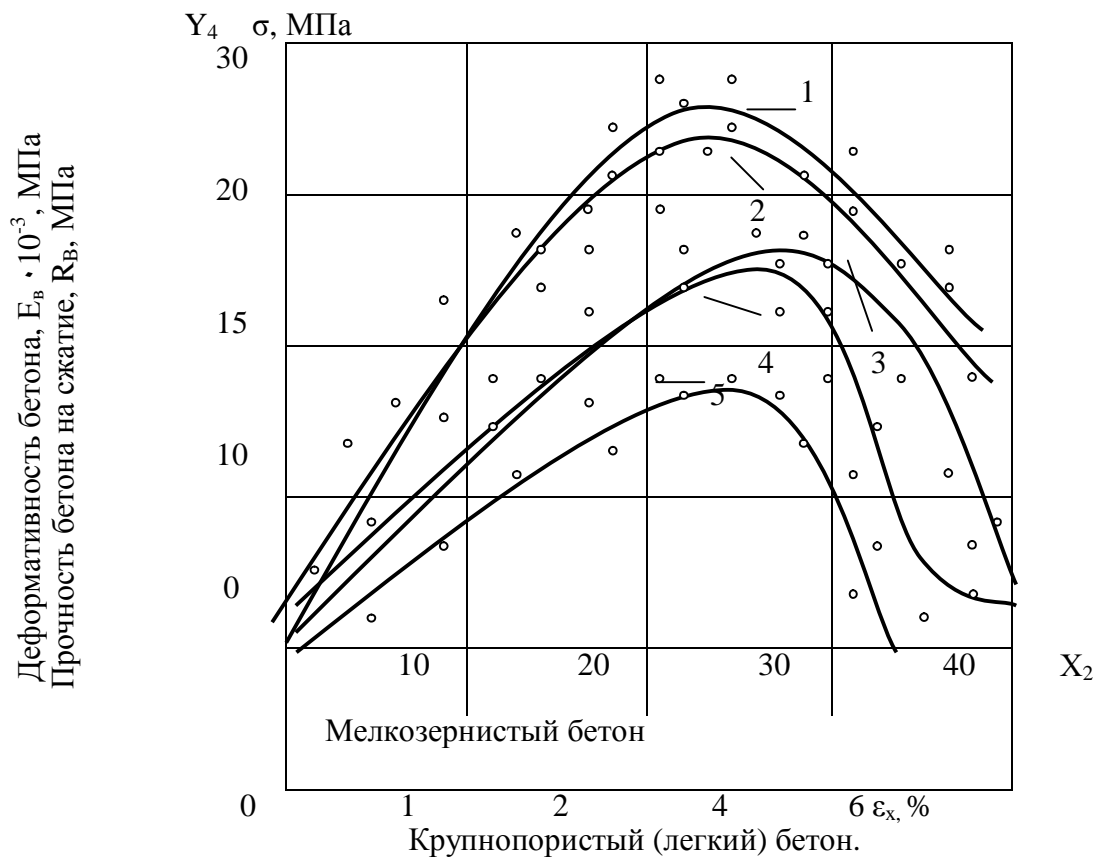


Рис. 4 Влияние вида и количества минеральных сырьевых добавок (ЗШО, золы-уноса) в составе композиционного вяжущего на деформативность бетона, где 1- контрольные образцы бетонных призм из тяжелого мелкозернистого бетона класса В30 в возрасте 28суток после ТВО; 2-бетонные образцы из мелкозернистого бетона класса В20 с минеральной добавкой ЗШО-10% от массы цемента; 3 – тоже, с добавкой золы – уноса 20% от массы цемента; 4 – тоже, с добавкой цеолита с S_{уд}=260м²/кг 20% от массы цемента; 5 – тоже, из легкого бетона класса В15 на керамзитового гравии фракции 10...20мм, с добавкой цеолита 20% от массы цемент