

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ГРАНШЛАКА ЗАВОДА ИМ. ПЕТРОВСКОГО

Представлено результати дослідження впливу складів бетонів на межу міцності при стисненні, в яких в якості основного компонента використано граншлак заводу ім. Петровського, а в якості наповнювача – зола-винесення Придніпровської ГРЕС.

Ключові слова: легкі бетони, межа міцності при стисненні, граншлак, зола-винесення

Представлены результаты исследования влияния составов бетонов на предел прочности при сжатии, в которых в качестве основного компонента использован граншлак завода им. Петровского, а в качестве наполнителя – зола-унос Приднепровской ГРЭС.

Ключевые слова: легкие бетоны, предел прочности при сжатии, граншлак, зола-унос

The research results of influence of compositions of concretes on tensile strength at compression, in which the slag from the Steel Plant named after Petrovskiy was used as a basic component and the ash from the Prydniprovs'ka Heat Power Station as filler, are represented.

Keywords: light concretes, tensile strength at compression, slag, ash

Постановка проблеми

В промышленных и гражданских зданиях используются в значительных объемах бетоны, которые эксплуатируются в благоприятных условиях без переменного замораживания и оттаивания, увлажнения и высушивания, основной требуемой характеристикой которых является прочность. Например, в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 [1] для обеспечения нормированного теплоусвоения пола рекомендуется использовать легкий бетон стяжек, предел прочности, при сжатии которого должен соответствовать классу В5. Конструкция пола должна также обеспечивать необходимую звуко- и теплоизоляцию. Поэтому в подстилающих слоях бетона рекомендуется применять керамзитобетон классов от В3,5 до В7,5. Такие бетоны целесообразно получать на основе местных легких вторичных продуктов промышленности, например граншлака. Но при этом важно обеспечить требуемую прочность при минимальном расходе цемента, который является наиболее дорогой и энергоемкой составляющей бетона. Эта актуальная задача может решаться на основе целенаправленных теоретических и экспериментальных исследований.

Анализ последних исследований и определение нерешенных проблем

Проблемам утилизации в бетонах вторичных продуктов промышленности и эффективного использования цемента при их производстве посвящено много работ [2–5]. По сути это

ключевая проблема бетоноведения. Одной из его важнейших проблем является определение необходимого количества каждой составляющей для обеспечения требуемых физико-механических характеристик при минимально необходимом количестве цемента. У исследователей нет единого мнения по решению этой задачи.

Нами предложено решать эту задачу, обеспечивая рациональный зерновой состав компонентов, при реализации которого существенно повышается эффективность использования цемента [6].

Цель проведенных исследований

Используя метод математического планирования эксперимента, определить требуемые составы легких бетонов на основе вторичных продуктов промышленности Днепропетровского региона, которые обеспечивают необходимые прочностные характеристики при минимальном расходе цемента.

Основной материал исследований

Экспериментальные исследования по оптимизации составов и свойств бетонов проводили с применением методов математического планирования экспериментов. Необходимое количество каждого компонента в смеси из условий ее минимальной пустотности определено нами ранее в работе [7]. Все эксперименты проведены по ортогональному плану, представленному в табл. 1, с тремя переменными. В качестве

варьируемых факторов приняты расход применяемого цемента (Ц), воды (В) и добавки ПЛКП (Д). Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Ортогональный план эксперимента

№ опыта	Варьируемые факторы		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1
4	-1	+1	+1
5	+1	-1	-1
6	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0
10	-1	0	0
11	+1	0	0
12	0	-1	0
13	0	+1	0
14	0	0	-1
15	0	0	+1

Таблица 2

Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов эксперимента

Код	Натуральные значения		
	Ц, кг (X_1)	В, л (X_2)	Д, % (X_3)
-1	150	210	0,5
0	250	230	1,0
+1	350	250	1,5

В качестве вяжущего использовали Криво-рожский портландцемент П/Б-Ш-400, удовлетворяющий требованиям ДСТУ Б В.2.7-46-96. Цемент в отдельных экспериментах использовался активностью 23,2 МПа и 39,8 МПа по ГОСТ 310.4-81.

Нами в отдельных экспериментах специально применялся лежалый цемент, потерявший значительную часть активности, чтобы определить возможность и эффективность его использования в бетонах низкой прочности с компо-

нентами из местных вторичных продуктов промышленности.

Для модификации бетонов, в частности, улучшения удобоукладываемости, применяли комплексные добавки местного производства ПЛКП, выпускаемые в соответствии с требованиями ТУ УВ.2.7-24.6-312244931-001:2005.

В качестве добавки-наполнителя использовали золу-унос Приднепровской ГРЭС. Ее удельная поверхность (зерновой состав) изменяется от 200 до 700 м²/кг по Блейну. Много в этой золе, по сравнению с другими золами, например, по требованиям ГОСТ 25818-91, а также золой-уносом Ладыжинской ГРЭС, несгоревших остатков – от 12 до 20 %. Соответственно от 20 до 40 % изменяется и водопоглощение. Эти характеристики золы-уноса Приднепровской ГРЭС могут существенно влиять на свойства бетонной смеси и физико-механические характеристики затвердевшего бетона.

В качестве заполнителей использовали керамзитовый гравий, насыпной массой 450 кг/м³, состоящий из зерен крупностью от 5 до 20 мм, граншлак завода им. Петровского, насыпная масса которого составляла 880 кг/м³. В качестве мелкого заполнителя использовали песок кварцевый речной средней плотностью породы 2630 кг/м³, насыпной плотностью 1550 кг/м³, пустотностью 41 %, модуль крупности 1,56. Содержание вредных примесей – в пределах нормы.

Расход цемента принят в килограммах, воды в литрах на кубометр бетона, а расход добавки ПЛКП – в процентах от массы цемента. При изменении расхода цемента изменялся и расход золы-уноса Приднепровской ГРЭС, так чтобы сумма этих компонентов оставалась постоянной и равной 550 кг. Таким образом, поддерживался рациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси.

В эксперименте приняты постоянными расход на кубометр бетона: керамзитового гравия 200 кг, граншлака 450 кг, песка 300 кг. Составы и результаты испытания полученных из них контрольных образцов в 28-суточном и годовом возрасте представлены в табл. 3 при использовании цемента активностью 23.2 МПа, а в табл. 4 – при использовании цемента активностью 39,8 МПа. Уравнение, которым описывается трехфакторная модель обработки представленных в табл. 3 и 4 данных, имеет вид:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_{11} \cdot X_1^2 + a_{22} \cdot X_2^2 + a_{33} \cdot X_3^2 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (1)$$

где Y – отклик модели (оптимизируемый параметр);

a_0 – свободный член полинома;

a_i – коэффициенты при отдельных членах полинома;

X_i – варьируемые факторы в кодовом виде.

По полученным полиномам третьей степени (1) построены номограммы в виде изолиний зависимости изменения оптимизируемых характеристик от варьируемых параметров, представленные на рис. 1–4.

Анализом представленных на рис. 1–4 результатов определены следующие закономерности. Предел прочности при сжатии контрольных образцов бетона, изготовленных с применением вторичных ресурсов промышленности составов, представленных в табл. 3 и 4, наиболее существенно зависит от расхода цемента. Но бетоны с одинаковой прочностью

можно получить при тем большем расходе цемента низкой активности, чем больше расход воды в смеси и практически при одинаковом расходе используемого пластификатора (см. рис. 1, а). А при использовании цемента активностью около 40 МПа и низких расходах воды количество используемого пластификатора также практически не влияет на прочность бетона (см. рис. 3, а). Но при максимальном количестве воды в составе прочность более существенно зависит от расхода применяемого пластификатора. Бетон равной прочности при максимальных расходах воды и пластификатора можно получить при значительно большем расходе цемента, чем при минимальном расходе пластификатора. А при минимальном расходе пластификатора бетон равной прочности можно получать при минимальных расходах воды (см. рис. 3, а).

Таблица 3

Составы с использованием керамзитового гравия, граншлака завода имени Петровского, золы-уноса Приднестровской ГРЭС, цемента П/Б-Ш-400 активностью 23,2 МПа, добавки местного производства ПЛКП (Д, % от массы цемента) и результаты их испытания

№ состава	Расход материалов на м ³ , кг							Уд.-укл. ОК, см	Плотность, кг/м ³	Предел прочн. $R_{б}^{28}/R_{б}^{год}$, МПа	$\frac{10 R_{б}^{28}/Ц}{10 R_{б}^{год}/Ц}$
	Ц	Кер	Гран-шлак	Зола	П	В	Д, %				
1	350	200	450	200	300	210	1,5	1,0	1,61	15,8/23,3	0,45/0,67
2	150	200	450	400	300	210	1,5	1,0	1,56	4,3/8,4	0,29/0,56
3	250	200	450	300	300	210	1,0	0,5	1,58	10,6/14,5	0,42/0,58
4	350	200	450	200	300	210	0,5	0,5	1,6	14,1/16,6	0,4/0,47
5	150	200	450	400	300	210	0,5	0,5	1,55	5,4/7,8	0,36/0,52
6	250	200	450	300	300	230	1,0	1,0	1,58	8,5/14,4	0,34/0,58
7	350	200	450	200	300	230	1,0	1,0	1,63	11,8/19,4	0,34/0,55
8	150	200	450	400	300	230	1,0	1,5	1,54	3,8/6,7	0,25/0,45
9	250	200	450	300	300	230	1,5	1,5	1,55	6,0/11,4	0,24/0,46
10	250	200	450	300	300	230	0,5	1,5	1,53	6,5/9,5	0,26/0,38
11	350	200	450	200	300	250	1,5	1,0	1,61	10,8/14,1	0,31/0,4
12	150	200	450	400	300	250	1,5	1,5	1,52	4,5/8,2	0,3/0,55
13	250	200	450	300	300	250	1,0	1,5	1,52	7,5/17,2	0,3/0,69
14	350	200	450	200	300	250	0,5	1,0	1,57	10,5/20,5	0,3/0,59
15	150	200	450	400	300	250	0,5	1,5	1,53	3,6/9,8	0,24/0,65

Составы с использованием керамзитового гравия, граншлака завода имени Петровского, золы-уноса Приднепровской ГРЭС, цемента П/Б-Ш-400 активностью 39.8 МПа, добавки местного производства ПЛКП (Д,% от массы цемента) и результаты их испытаний

№ состава	Расход материалов на м ³ , кг							Уд.-укл. ОК, см	Плотность, кг/м ³	Предел прочн. $R_b^{28}/R_b^{год}$, МПа	$\frac{10 R_b^{28}/Ц}{10 R_b^{год}/Ц}$
	Ц	Кер	Граншлак	Зола	П	В	Д, %				
1	350	200	450	200	300	210	1,5	1,5	1,6	22,8/26,3	0,65/0,75
2	150	200	450	400	300	210	1,5	1,0	1,52	10,7/12,3	0,71/0,82
3	250	200	450	300	300	210	1,0	1,0	1,53	17,3/19,7	0,69/0,79
4	350	200	450	200	300	210	0,5	0,5	1,55	21,1/24,6	0,6/0,7
5	150	200	450	400	300	210	0,5	1,5	1,52	10,7/13,5	0,71/0,9
6	250	200	450	300	300	230	1,0	1,0	1,57	15,2/18,9	0,61/0,76
7	350	200	450	200	300	230	1,0	1,5	1,61	19,7/25,8	0,56/0,74
8	150	200	450	400	300	230	1,0	1,0	1,57	9,7/13,5	0,65/0,9
9	250	200	450	300	300	230	1,5	1,0	1,52	15,1/19,7	0,6/0,79
10	250	200	450	300	300	230	0,5	1,5	1,53	16,3/19,3	0,65/0,77
11	350	200	450	200	300	250	1,5	1,5	1,58	17,9/22,3	0,51/0,64
12	150	200	450	400	300	250	1,5	2,0	1,54	9,9/14,1	0,66/0,94
13	250	200	450	300	300	250	1,0	2,0	1,52	15,7/19,6	0,63/0,78
14	350	200	450	200	300	250	0,5	1,5	1,57	18,2/25,5	0,52/0,73
15	150	200	450	400	300	250	0,5	2,5	1,58	8,6/12,7	0,57/0,85

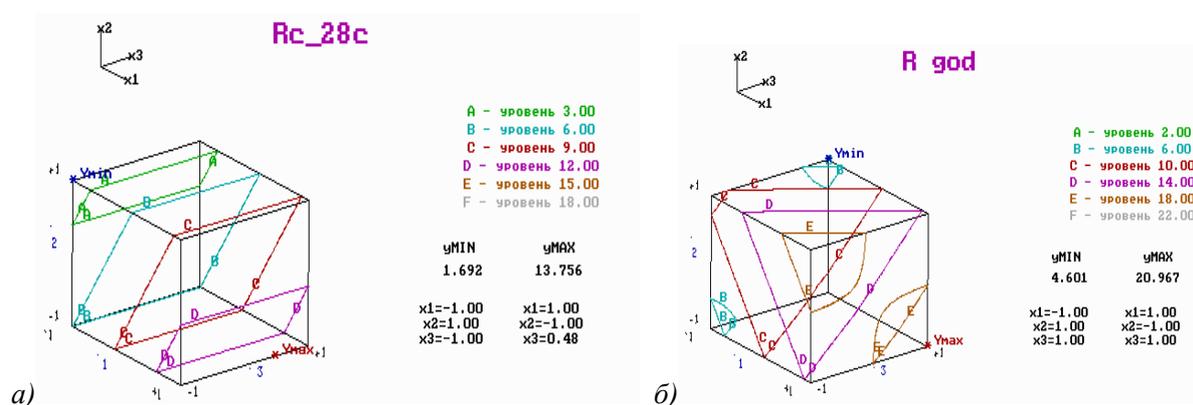


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности бетона от варьируемых факторов, представленных в табл. 2, приведенных в табл. 3 составов:
а) в 28-суточном; б) в годичном возрасте

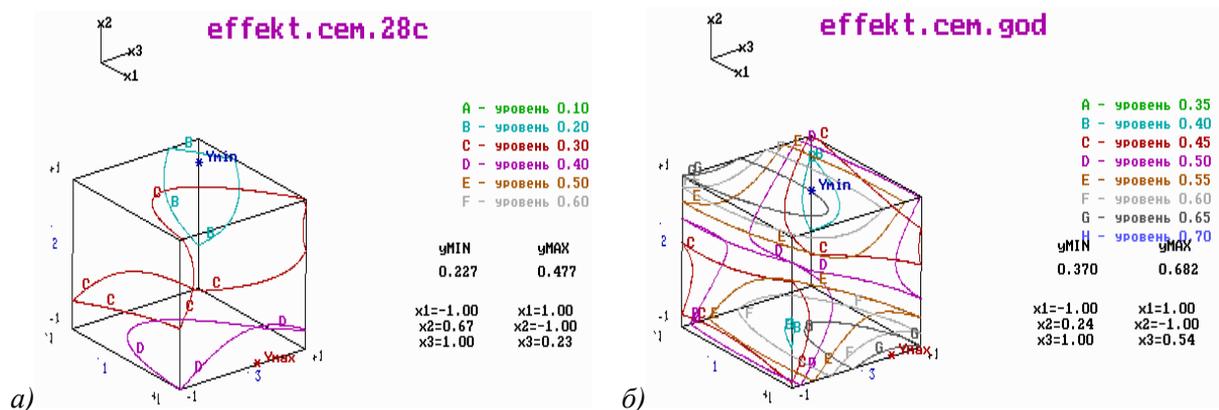


Рис. 2. Номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне от варьируемых факторов, представленных в табл. 2, приведенных в табл. 3 составов: а) 28-суточного; б) годичного возраста

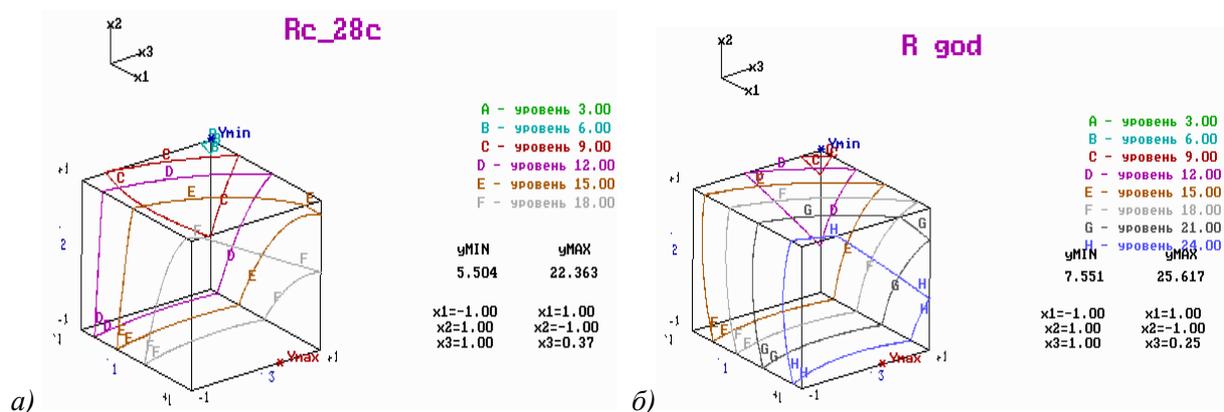


Рис. 3. Номограммы зависимости прочности бетона от варьируемых факторов, представленных в табл. 2, приведенных в табл. 4 составов: а) в 28-суточном; б) в годичном возрасте

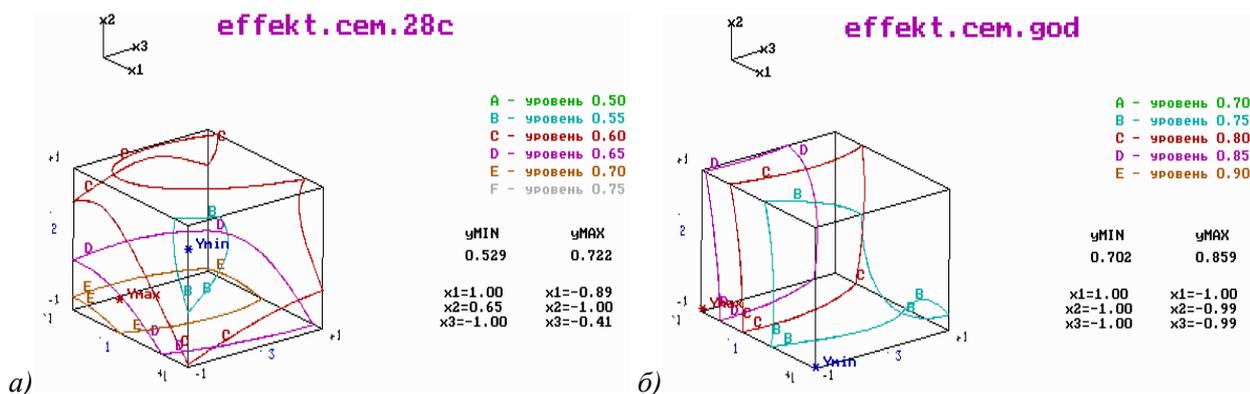


Рис. 4. Номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне от варьируемых факторов, представленных в табл. 2, приведенных в табл. 4 составов: а) 28-суточного; б) годичного возраста

Бетон равной прочности при максимальных расходах воды и пластификатора можно получить при значительно большем расходе цемента, чем при минимальном расходе пластификатора. А при минимальном расходе пластификатора бетон равной прочности можно получить

при минимальных расходах воды (см. рис. 3, а). Аналогичная закономерность изменения прочности бетона от исследуемых факторов остается и для бетонов в годичном возрасте при использовании цемента активностью около 40 МПа (см. рис. 3, б). Но при использовании

цемента низкой активности эта закономерность существенно отличается (см. рис. 1, б). Чем больший расход воды в смеси, тем при меньших расходах цемента обеспечивается одинаковая прочность бетона в годичном возрасте. Но чем больше расход используемой пластифицирующей добавки в смеси, тем при больших расходах цемента обеспечивается одинаковая прочность (см. рис. 1, б). Вероятно, больший расход воды, отрицательно действующий на рост прочности бетона в 28-суточном возрасте, благоприятно воздействует на длительный набор прочности бетоном, в том числе в годичном возрасте.

Эффективность использования цемента, выражаемая соответствующим коэффициентом, существенно зависит от активности применяемого цемента. Так, при низкой активности цемента максимальный коэффициент эффективности использования цемента наблюдается при наибольшем расходе цемента как в бетонах 28-суточного возраста, так и годичного (см. рис. 2, а и 2, б). При этом по абсолютной величине этот коэффициент изменяется почти в два раза. А при использовании цемента активностью около 40 МПа максимальный коэффициент эффективности использования цемента наблюдается при наименьшем расходе цемента как в бетонах 28-суточного, так и годичного возраста. Но по абсолютной величине этот коэффициент изменяется несущественно, примерно на 20% (см. рис. 4, а и 4, б).

При использовании цемента низкой активности примерно одинаковый и достаточно высокий коэффициент эффективности использования цемента можно обеспечить на используемых компонентах бетона при низких расходах воды (см. рис. 2, а и 2, б). А при использовании цемента активностью около 40 МПа диапазон высокой эффективности использования цемента значительно больше, чем при использовании цемента низкой активности (см. рис. 4, а и 4, б).

Выводы

1. При обеспечении рационального зернового состава компонентов можно получить легкие бетоны заданной прочности, утилизируя в них местные вторичные продукты промышленности и экономно расходуя цемент, в том числе пониженной активности.

2. Необходимо проведение дальнейших исследований по апробации рекомендуемых составов в производственных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.03.13-88 Полы [Текст]. – Взамен СНиП П-В.8-71; введ. 01.01.89. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 15 с.
2. Волженский, А. В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. Л. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
3. Иванов, И. А. Легкие бетоны с применением зол электростанций [Текст] / И. А. Иванов. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
4. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / Л. И. Дворкин [и др.] – К.: Будівельник, 1991. – 137 с.
5. Пунагін, В. Н. Проектування складів гідротехнічного бетону [Текст] / В. Н. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Д.: Арт-Прес, 1998. – 192 с.
6. Нетеса, Н. И. Проектирование составов бетонов с рациональным зерновым составом компонентов [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 101-105.
7. Нетеса, Н. И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепропетровского региона [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 33. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 180-184.

Поступила в редколлегию 07.04.2010.

Принята к печати 22.04.2010.