

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СОСТАВЫ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГРАНШЛАКА ЗАВОДА имени ПЕТРОВСКОГО

Представлены результаты определения рациональных составов бетонов, отвечающих требованиям действующих стандартов по пределу прочности на сжатие для некоторых конструкций. В этих составах в качестве основного компонента использован граншлак завода имени Петровского, а в качестве наполнителей – зола уноса Приднепровской ГРЭС и хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

*Ключевые слова:* граншлак, зола, рациональный состав бетона

### Постановка проблемы

Потребность в бетонах низкой прочности в конструкциях зданий и сооружений весьма значительна. Традиционные методы определения их составов не позволяют эффективно использовать в таких бетонах цемент и другие составляющие. Так, коэффициент эффективности использования цемента в тяжелых бетонах класса В10 и менее составляет примерно 0,5, что почти в 2 раза меньше чем в бетонах класса В15 и выше. Еще ниже коэффициент эффективности использования цемента в легких бетонах низкой прочности. Кроме того, в таких бетонах целесообразно использовать вторичные продукты местной промышленности. Но остается нерешенной проблема определения рациональных составов таких бетонов с максимально возможным использованием цемента в них.

### Анализ последних исследований

Проблемам утилизации в бетонах вторичных продуктов промышленности, особенно зол уноса тепловых электростанций, и эффективно использования цемента в таких бетонах посвящено много работ [1-5]. Это одна из важнейших проблем бетоноведения. Важно определить необходимое количество каждой составляющей для обеспечения требуемых физико-механических характеристик при минимально необходимом количестве цемента. Исследователями предложено множество вариантов решения этой задачи.

Нами в основу определения составов бетонов, в том числе с вторичными компонентами местной промышленности, положен принцип обеспечения рационального зернового состава компонентов, при реализации которого существенно повышается эффективность использования цемента [6].

### Цель проведенных исследований

На основе анализа проведенных ранее результатов исследований, в том числе с применением методов математического планирования экспериментов, определить составы бетонов, которые могут обеспечить требованиям п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 [7] к подстилающим слоям пола. В частности, в этих нормах для обеспечения нормированного теплоусвоения пола рекомендуется использовать легкий бетон стяжек, предел прочности при сжатии которого должен соответствовать классу В5. При этом важно обеспечить требуемую прочность при минимальном расходе цемента, который является наиболее дорогой и энергоемкой составляющей бетона.

### Основной материал исследований

Легкий бетон стяжки, выполняемой для обеспечения нормированного теплоусвоения пола, по пределу прочности бетона на сжатие должен соответствовать классу В5. Следовательно, с учетом коэффициента вариации 0,135 и масштабного коэффициента для приведения прочности бетона в образцах с размером стороны куба 100 мм к прочности бетона в образце базового размера 150 мм, который в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-90 (табл. 5) равен 0,95, такой бетон должен иметь средний предел прочности на сжатие около 7,0 МПа.

Экспериментальные исследования по оптимизации составов и свойств бетонов проводили с применением методов математического планирования экспериментов.

Все эксперименты проведены по ортогональному плану с тремя переменными. В качестве варьируемых факторов приняты расход применяемого цемента (Ц), воды (В) и добавки ПЛКП-2 (Д).

Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов приведены в табл. 1. Расход це-

мента принят в килограммах, воды в литрах на кубометр бетона, а расход добавки ПЛКП-2 в процентах от массы цемента.

Таблица 1

**Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов**

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

При изменении расхода цемента изменялся и расход золы уноса Приднепровской ГРЭС так, чтобы сумма этих компонентов оставалась постоянной и равной 550 кг.

А в отдельных экспериментах вместо золы уноса использовали в качестве наполнителя хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа. Таким образом поддерживался рациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси. Цемент использовался активностью 39,8 МПа. Приняты постоянными расход на кубометр бетона: граншлака 675 кг, песка 400 кг.

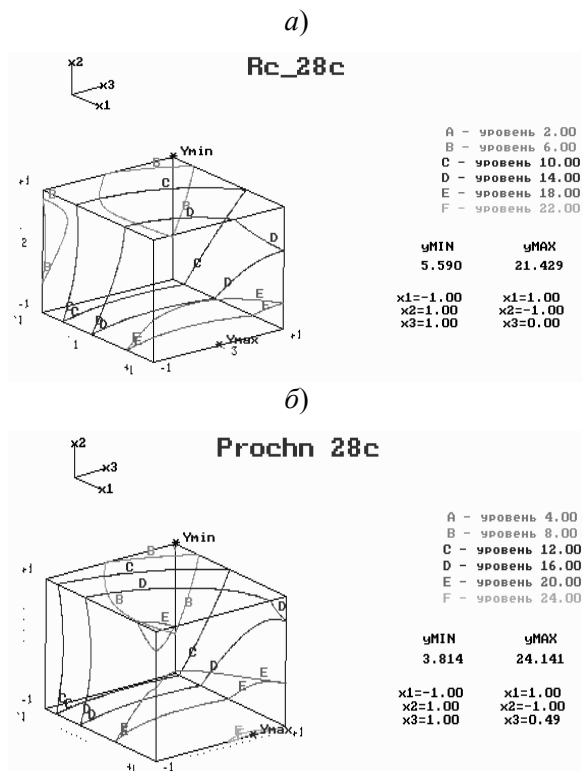


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности бетона в 28-ми суточном возрасте от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя: а) – золы уноса Приднепровской ГРЭС; б) – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

На рис. 1, а представлены номограммы зависимости прочности бетона от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя золы уноса Приднепровской ГРЭС, а на рис. 1, б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа. На рис. 2 представлены номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне 28-ми суточного возраста от тех же варьируемых факторов.

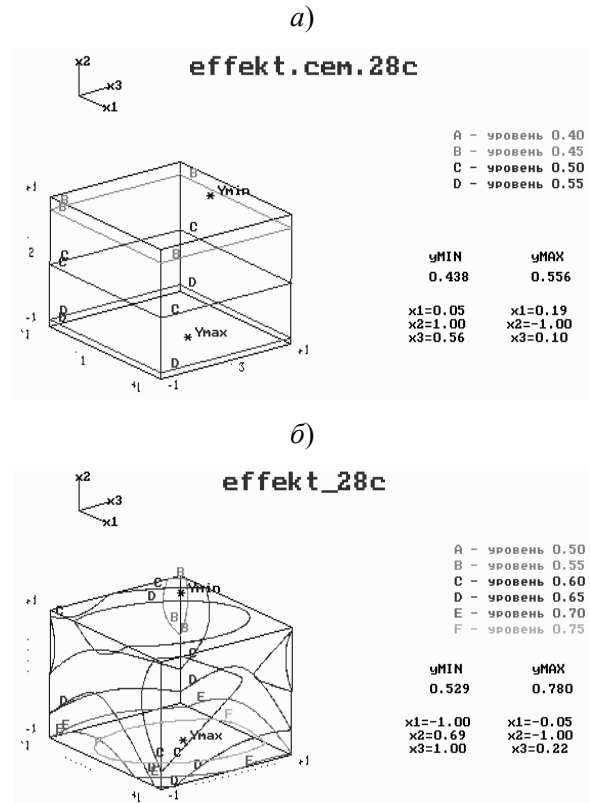


Рис. 2. Номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне 28-ми суточного возраста от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя: а) – золы уноса Приднепровской ГРЭС; б) – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

Эффективность использования цемента стандартной активности во всем диапазоне исследований предела прочности бетона на сжатие в 28-ми суточном возрасте наибольшая при минимальном расходе воды, который в исследованиях составлял 210 литров на кубометр бетонной смеси. Удобоукладываемость бетонной смеси всех исследуемых составов, определяемая по осадке стандартного конуса, при изменении расхода воды в исследуемом диапазоне изменялась незначительно. Кроме того, визуальными наблюдениями установлено, что бетонная смесь достаточно легко и быстро уплотнялась при воздействии стандартной вибрации при любом расходе воды в изменяемом

диапазоне. Эта особенность бетонных смесей, вероятно, связана с тем, что в исследованиях использовались вторичные ресурсы с развитой пористой поверхностью. Поэтому водопотребность смесей значительно больше, чем тяжелых бетонов на песке и щебне. Но после достижения расхода воды на кубометр бетонной смеси свыше 200 литров она сохраняет достаточно хорошую удобоукладываемость при изменении расхода воды в пределах 50 литров.

Учитывая, что в производственных условиях при укладке подстилающих слоев полов бетонная смесь легкого бетона укладывается тонким (4...8 см) слоем с использованием для уплотнения и заглаживания поверхности виброреек с частотой вибрации не ниже 50 Гц, целесообразно использовать бетонную смесь с расходом воды около 210 литров на кубометр бетонной смеси.

Расход применяемой пластифицирующей добавки менее существенно влияет на эффективность использования цемента. Но поскольку он несколько выше в основном при ее расходе около 1 % от массы цемента, то целесообразно использовать этот расход пластифицирующей добавки.

Эффективность использования цемента, как правило, возрастает по мере увеличения его расхода на кубометр бетонной смеси. Но это увеличение не существенно. Кроме того, предел прочности затвердевшего бетона на сжатие наиболее существенно зависит от расхода цемента. Поэтому определять требуемые составы бетонов для конкретных условий необходимо из условий минимально необходимого расхода цемента для обеспечения требуемого предела прочности бетона на сжатие.

Диапазон поиска рациональных составов легкого бетона стяжки, выполняемой для обеспечения нормированного теплоусвоения пола в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.03.13-88, который должен иметь средний предел прочности на сжатие 7,0 МПа, при использовании цемента активностью около 40,0 МПа, определим, воспользовавшись представленными на рис. 1 и 2 зависимостями. При использовании в качестве заполнителя только граншлака завода имени Петровского и песка без керамзитового гравия, а в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ГРЭС, предел прочности на сжатие 7,0 МПа можно получить при минимальном в исследуемом диапазоне расходе цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси при расходе воды – 210 литров на кубометр бетонной смеси и пласти-

фицирующей добавки ПЛКП-2 от 0,5 до 1,5 % от массы цемента (см. рис. 1, а). Как следует из представленных на этом рисунке зависимостей, предел прочности бетона на сжатие увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно такой как требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что требуемый для наших целей предел прочности на сжатие 7,0 МПа можно получить при расходе воды от 210 до 230 литров, при котором обеспечивается достаточная удобоукладываемость бетонной смеси, и около 150 кг цемента на кубометр бетонной смеси. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 140 кг на кубометр бетонной смеси.

Для получения этой же прочности при использовании в качестве добавки-наполнителя хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа расход цемента требуется меньше минимального в исследуемом диапазоне расходе цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси (см. рис. 1, б). Расход воды требуется в диапазоне от 210 до 250 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП-2 от 0,5 до 1,0 % от массы цемента. Как следует из представленных на этом рисунке зависимостей, прочность бетона увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно такой как требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что требуемый для наших целей предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить при расходе воды от 210 до 250 литров, при котором обеспечивается достаточная удобоукладываемость бетонной смеси, и около 150 кг цемента на кубометр бетонной смеси. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 130 кг на кубометр бетонной смеси. А уточнить минимально необходимый расход цемента для получения требуемого предела прочности бетона на сжатие необходимо в процессе проведения дополнительных исследований.

Учитывая вышеприведенный анализ результатов обработки экспериментальных исследований, выполненных с применением методов математического планирования экспериментов, определим составы для поиска и уточнения рациональных, которые можно использовать при устройстве подстилающих слоев пола для обеспечения нормированного теплоусвоения в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.03.13-88. Этот бетон должен иметь средний предел прочности на сжатие 7,0 МПа, при использовании цемента активностью около

40,0 МПа. Эти составы и результаты определения предела прочности на сжатие контрольных образцов бетона в 28-ми суточном возрасте представлены в табл. 2 с использованием в ка-

честве добавки-наполнителя золы уноса Приднeпровской ГРЭС и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

Таблица 2

**Составы и результаты их испытаний с использованием граншлака завода имени Петровского, золы уноса Приднeпровской ГРЭС, хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа, цемента П/Б-Ш-400, активностью 40,5 МПа и добавки местного производства ПЛКП-2 (Д,% от массы цемента)**

№ состава	Расход материалов на м <sup>3</sup> , кг							Уд-укл. ОК, см	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочн. R <sub>b</sub> <sup>28</sup> , МПа	10 R <sub>b</sub> <sup>28</sup> /Ц
	Ц	Кер	Граншл.	Зола	П	В	Д,%				
4	130	420	675	-	400	230	1,0	1,5	1,75	7,7	0,59
5	150	400	675	-	400	230	1,0	1,0	1,73	8,9	0,59
6	170	380	675	-	400	230	1,0	1,0	1,76	10,2	0,6
4	140	-	675	410	400	230	1,0	1,5	1,78	7,3	0,52
5	160	-	675	390	400	230	1,0	1,5	1,77	8,2	0,51
6	180	-	675	370	400	230	1,0	1,0	1,72	8,9	0,49

Анализом представленных в табл. 2 результатов испытания контрольных образцов бетона в 28-ми суточном возрасте установлены следующие закономерности. Требуемый предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить в исследуемом диапазоне при использовании в составах в качестве наполнителя как золы уноса Приднeпровской ГРЭС, так и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

В процессе приготовления и укладки бетонных смесей на строительной площадке могут изменяться влажность компонентов, трудно обеспечить точную дозировку компонентов, могут влиять некоторые другие производственные факторы. Поэтому для гарантированного обеспечения требуемой нормативной прочности бетона в подстилающих слоях пола для обеспечения нормированного теплоусвоения в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 целесообразно принять составы № 2 и 5 из табл. 2. Следовательно, при использовании в качестве добавки-наполнителя золы уноса приднeпровской ГРЭС целесообразно использовать такой номинальный состав на кубометр бетонной смеси: цемента 160 кг, граншлака завода имени Петровского 675 кг, золы уноса приднeпровской ГРЭС 390 кг, песка 400 кг, воды 230 литров. А при использовании в качестве добавки-наполнителя хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа целесообразно использовать такой номинальный

состав на кубометр бетонной смеси: цемента 150 кг, граншлака завода имени Петровского 675 кг, хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа 400 кг, песка 400 кг, воды 230 литров. В производственных условиях эти составы необходимо корректировать в зависимости от влажности используемых компонентов.

### Выводы

1. При обеспечении рационального зернового состава компонентов можно получить легкие бетоны заданной прочности на основе граншлака завода имени Петровского, используя в качестве наполнителей хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа или золы уноса Приднeпровской ГРЭС.

2. Для обеспечения требуемой прочности легкого бетона класса В5 на основе местных вторичных продуктов промышленности достаточно цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Пунагін, В. Н. Проектування складів гідротехнічного бетону [Текст] / В. Н. Пунагін,

- О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Д.: Арт-Прес, 1998. – 192 с.
3. Иванов, И. А. Легкие бетоны с применением зол электростанций [Текст] / И. А. Иванов. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
  4. Feng Nai-Qian. High-strength and flowing concrete with a zeolitic mineral admixture [Текст] / Feng Nai-Qian, Li Gui-Zhi, Zang Xuan-Wu // Cem., Concr., and Aggreg. – 1990. – V 12. – № 2. – P. 61-69.
  5. Нетеса, Н. И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепровского региона [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Дніпропетр. нац. універ-ту залізничн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна – Вип. 33. – Д.: Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – С. 180-184.
  6. Нетеса, Н. И. Легкие бетоны на основе граншлака завода имени Петровского [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Дніпропетр. нац. універ-ту залізничн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна – Вип. 35. – Д.: Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – С. 156-161.
  7. СНиП 2.03.13-88 Полы [Текст]. – Взамен СНиП П-В.8-71; введ. 01.01.89. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 15 с.

Поступила в редколлегию 26.03.2012.

Принята к печати 09.04.2012.

М. І. НЕТЕСА, Д. В. ПАЛАНЧУК (ДІПТ)

## **ЕФЕКТИВНІ СКЛАДИ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ ГРАНШЛАКУ ЗАВОДУ ІМЕНІ ПЕТРОВСЬКОГО**

Представлені результати визначення раціональних складів бетонів, що відповідають вимогам діючих стандартів по межі міцності на стиснення для деяких конструкцій. У цих складах як основний компонент використаний граншлак заводу ім. Петровського, а як наповнювачі зола винесення Придніпровської ГРЕС і хвости збагачення залізняку Криворізького ПГЗК.

*Ключові слова:* граншлак, зола, раціональний склад бетону

N. NETESA, D. PALANCHUK (Dniepropetrovsk National University of Railway Transport)

## **EFFECTIVE COMPOSITIONS OF CONCRETES ON THE BASIS OF GRANSHLAK FACTORY THE NAME PETROVSKOGO**

The results of determination of rational compositions of concretes answering requirements of operating standards on tensile strength on the compression for some constructions are represented. In these compositions as a basic component used granshlak factory the name Petrovskogo and as ash of taking away of Prydneprovskoy GRES and milltailings iron-stones of Kryvorozhskogo UGZC.

*Keywords:* granshlak, ash, rational compositions of concretes