

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 691.327.32:662.613

Н. И. НЕТЕСА¹, Д. В. ПАЛАНЧУК², А. Н. НЕТЕСА^{1*}

¹Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, эл. почта andreynetes@meta.ua

²Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 560 18 38, эл. почта stroitel_p@mail.ru

^{1*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 769 25 51, эл. почта andreynetes@meta.ua

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ЗОЛОЙ УНОСА ПРИДНЕПРОВСКОЙ ТЭС

Цель. Определение закономерностей влияния расхода компонентов легких бетонов, получаемых на основе местных вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии повышенной эффективности использования цемента. **Методика.** Экспериментальные исследования по оптимизации составов и свойств бетонов выполняли с применением методов математического планирования экспериментов. Все эксперименты проведены по ортогональному плану с тремя переменными. В качестве варьируемых факторов приняты показатели расхода применяемого цемента, воды и добавки ПЛКП-2. **Результаты.** Выполнены обширные экспериментальные исследования по определению рациональных составов бетонных смесей с использованием в качестве заполнителей граншлака завода имени Петровского и песка днепровского, в качестве вяжущего – криворожского портландцемента марки П/Б-Ш-400, а наполнителя – золы уноса Приднепровской ТЭС. Основным критерием рациональности состава бетона принят коэффициент эффективности использования цемента, определяемый по отношению достигнутой прочности на единицу массы использованного цемента. Повышение значения этого коэффициента достигается с помощью полученной ранее закономерности рационального зернового состава компонентов, который обеспечивается при соотношении расхода крупной фракции к средней и к мелкой 52:23:25, а их размеров примерно 100:10:1. Проведены экспериментальные исследования с использованием метода математического планирования экспериментов. По результатам обработки полученных данных построены изополя зависимости прочности и коэффициента эффективности использования цемента от исследуемых факторов. **Научная новизна.** Сравнительными испытаниями прочности затвердевшего бетона, полученного на основе различных местных вторичных ресурсов и модифицированного комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, установлено, что наиболее эффективными являются легкие бетоны плотностью 1 700...1 800 кг/м³ с пределом прочности на сжатие от 5 до 20 МПа на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС при обеспечении рационального зернового состава компонентов с соотношением составляющих фракций крупной к средней и к мелкой 52:23:25. **Практическая значимость.** Определены составы легкой мелкозернистой смеси на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС, модифицированной комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, которые обеспечивают требуемую прочность бетона при сжатии в пределах 5...10 МПа при уменьшенном примерно на 20 % расходе цемента по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей составами.

Ключевые слова: зола уноса; цемент; вторичные продукты промышленности; эффективность; бетонная смесь; легкие бетоны; граншлак; зерновой состав; наполнитель

Введение

Утилизация вторичных продуктов промышленности в бетонах позволяет решать важные экологические, экономические и энергетические проблемы. В Днепропетровском регионе целесообразно утилизировать золы уноса Приднепровской ТЭС в легких бетонах и получать требуемые их свойства на основе граншлака завода имени Петровского.

Цель

Определение закономерностей влияния расхода компонентов легких бетонов, получаемых на основе местных вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии повышенной эффективности использования цемента. В качестве легкого заполнителя принят граншлак завода имени Петровского, а наполнителя – зола уноса Приднепровской ТЭС.

Методика

Для достижения поставленной цели выбран трехфакторный метод математического моделирования на основании ортогонального плана с тремя переменными. В качестве переменных принимали расход цемента (X_1), добавки ПЛКП-2 (X_2), а также воды (X_3). Расход последней варьировали в нешироком диапазоне, чтобы обеспечить незначительное изменение удобоукладываемости и требуемое уплотнение бетонной смеси стандартной вибрацией.

В качестве оптимизируемого параметра принята прочность бетона в 28-ми суточном возрасте при нормальных (стандартных) условиях твердения, по отдельным экспериментам – в годичном возрасте. Расход цемента принят в килограммах, воды в литрах на кубометр бетона, а добавки ПЛКП-2 – в процентах от массы цемента. При изменении расхода цемента изменялся и расход золы уноса Приднепровской ТЭС так, чтобы сумма этих компонентов оставалась постоянной и равной 550 кг. 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

около 40 МПа. Приняты постоянными значения расхода на кубометр бетона: граншлака 675 кг, песка 400 кг.

Расчет математической модели эксперимента и построение графических зависимостей выполнялись по специальной программе, разработанной в ОДАБА на кафедре «Процессы и аппараты в технологии строительных материалов» проф. В. А. Вознесенским и доц. Б. Л. Огарковым.

Результаты

В рамках решения важных экологических, энергетических и экономических проблем Украины строителям необходимо максимально использовать местные вторичные продукты промышленности для обеспечения требуемых свойств бетонов при минимально необходимом количестве цемента. Улучшать физико-механические характеристики таких бетонов и технологические свойства бетонных смесей можно за счет использования пластифицирующих добавок местного производства. Одним из направлений решения этой важной для Днепропетровского региона проблемы является производство легких бетонов на основе граншлака завода имени Петровского с использованием в качестве наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС. Успешное ее решение возможно за счет определения рациональных составов таких бетонов при максимально эффективном использовании цемента в них.

Проблемам утилизации в бетонах зол уноса тепловых электростанций и эффективного использования цемента в таких бетонах с различными заполнителями посвящено много работ отечественных [1–4, 7, 8, 10], а также зарубежных авторов [11–14]. Это одна из главных 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 [5, 6].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

На основе анализа ранее полученных результатов исследований, в том числе с применением методов математического планирования экспериментов, определены составы бетонов, которые соответствуют требованиям п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 [9] к подстилающим слоям пола. При этом важно обеспечить требуемую прочность при минимальном расходе цемента, который является наиболее дорогой и энергоемкой составляющей бетона. В частности, в этих нормах для обеспечения нормированного теплоусвоения пола рекомендуется использовать легкий бетон стяжек, предел прочности при сжатии которого 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 выполнены по ортогональному плану с тремя переменными. В качестве варьируемых факторов приняты значения расхода применяемого цемента (Ц), воды (В) и добавки ПЛКП-2 (Д). Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов приведены в табл. 1.

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

Эффективность использования цемента стандартной активности во всем диапазоне исследований предела прочности бетона на сжатие в 28-мисуточном 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 не изменялась несущественно. Кроме того, визуальными наблюдениями установлено, что бетонная смесь достаточно легко и быстро уплотнялась при воздействии стандартной вибрации при любом расходе воды в исследуемом 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 свыше 200 литров на кубометр бетонной смеси она сохраняет достаточно хорошую удобоукладываемость при изменении расхода воды в пределах 50 литров.

Учитывая, что в производственных условиях при укладке подстилающих слоев пола 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 она несколько выше в основном при ее расходе около 1 % от массы цемента, то целесообразно использовать такой расход пластифицирующей добавки.

Эффективность использования цемента, как правило, возрастает по мере увеличения его расхода на кубометр бетонной смеси. Но это увеличение несущественно. 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

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

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, а в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС предел прочности на сжатие 7,0 МПа можно получить при минимальном в исследуемом диапазоне расходе цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси, расходе воды 210 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП-2 0,5...1,5 % от массы цемента (см. рис. 1, а).

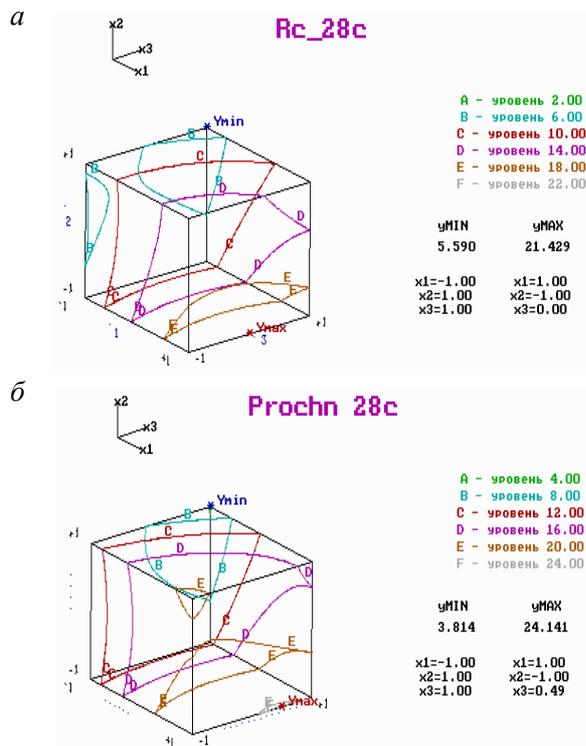


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности бетона в 28-мисуточном возрасте от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя:

- а – золы уноса Приднепровской ТЭС;
б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

Как следует из представленных на этом рисунке зависимостей, предел прочности бетона на сжатие увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно таким, как требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что необходимый 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 расходе цемента около 150 кг на кубометр бетонной смеси. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 140 кг на кубометр бетонной смеси.

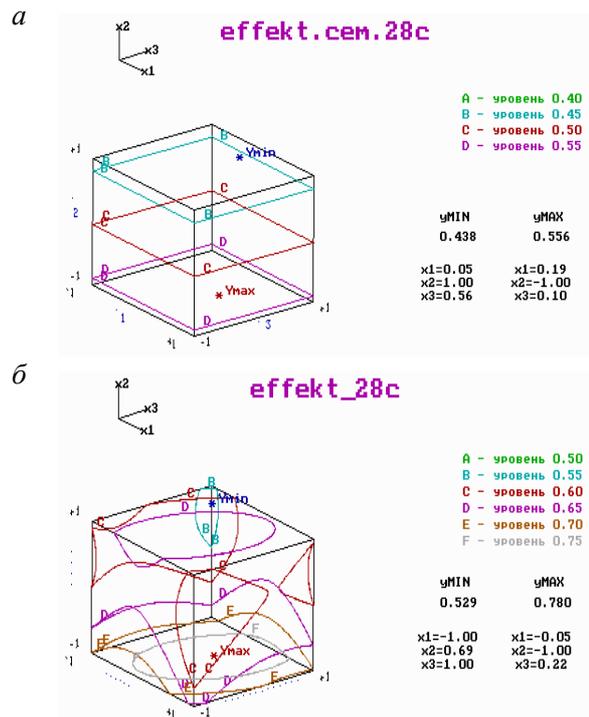


Рис. 2. Номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне 28-мисуточного возраста от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя:

- а – золы уноса Приднепровской ТЭС;
б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

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, который составляет 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

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

наших целей. Поэтому очевидно, что необходимый 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 расходе цемента около 150 кг 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 укладке подстилающих слоев пола. Эти составы и результаты определения предела прочности на сжатие контрольных образцов бетона в 28-мисуточном возрасте представлены в табл. 2 с использованием в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

В результате установлены следующие закономерности. Требуемый предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить в исследуемом диапазоне при использовании в со-

ставах в качестве наполнителя как золы уноса Приднепровской ТЭС, так и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

В процессе приготовления и укладки бетонных смесей на строительной площадке трудно обеспечить точную дозировку компонентов, может изменяться их влажность, оказывают влияние некоторые другие производственные факторы. Поэтому при гарантированном обеспечении 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 Приднепровской ТЭС целесообразно использовать такой номинальный состав на кубометр бетонной смеси: цемента 160 кг, граншлака завода имени Петровского 675 кг, золы уноса Приднепровской ТЭС 390 кг, песка 400 кг, воды 230 литров, а хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа: 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 следует корректировать в зависимости от влажности используемых компонентов, но при этом оставлять в вышеуказанных пределах рациональный зерновой состав компонентов.

Таблица 2

Составы бетонной смеси для укладки подстилающих слоев пола и результаты их испытаний

№ состава	Расход материалов на 1 м ³ , кг			Уд-укл. ОК, см	Плотность, кг/м ³	Предел прочности R ₆ ²⁸ , МПа	10 R ₆ ²⁸ /Ц
	Цемент	Хвосты	Зола				
1	130	420	–	1,5	1 750	7,7	0,59
2	150	400	–	1,0	1 730	8,9	0,59
3	170	380	–	1,0	1 760	10,2	0,60
4	140	–	410	1,5	1 780	7,3	0,52
5	160	–	390	1,5	1 770	8,2	0,51
6	180	–	370	1,0	1 720	8,9	0,49

Примечание: 1. Для всех составов расход граншлака завода им. Петровского на 1 м³ составляет 675 кг, песка – 400 кг, воды – 230 л, содержание добавки местного производства ПЛКП-2 – 1 % от массы цемента. 2. В составах использовался цемент марки П/Б-Ш-400 активностью около 40,0 Мпа, хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа и зола уноса Приднепровской ТЭС.

Научная новизна и практическая значимость

Сравнительными испытаниями прочности затвердевшего бетона, полученного на основе различных местных вторичных ресурсов и модифицированного комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, установлено, что наиболее эффективными являются легкие бетоны плотностью 1 700...1 800 кг/м³ с пределом прочности на сжатие от 5 до 20 МПа на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС при обеспечении рационального зернового состава компонентов с соотношением составляющих фракций крупной к средней и к мелкой 52:23:25. Определены составы легкой мелкозернистой смеси на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС, модифицированной комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, которые обеспечивают требуемую прочность бетона при сжатии в пределах 5...10 МПа при уменьшенном примерно на 20 % расходе цемента по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей составами.

Выводы

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

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков, В. И. Повышение реакционной способности доменного гранулированного шлака / В. И. Большаков, С. А. Щербак, М. А. Елисеєва // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сер. : Стародубовские чтения 2011 : сб. науч. тр. – Д., 2011. – Вып. 59, т. II. – С. 34–38.
2. Дворкин, Л. И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – М. : Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
3. Мелкозернистые бетоны на основе механоактивированных доменных гранулированных шлаков / В. И. Большаков, М. А. Елисеєва, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian – Lithuanian Transactions. – 2012. – Vol. 20. – P. 431–436.
4. Мирюк, О. А. Мелкозернистые бетоны на основе техногенного заполнителя / О. А. Мирюк // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 2. – С. 5–8.
5. Нетеса, Н. И. Легкие бетоны на основе граншлака завода имени Петровского / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 156–161.
6. Нетеса, Н. И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепровского региона / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 33. – С. 180–184.
7. Повышение качества строительных материалов за счет применения техногенных отходов и механоактивации смеси / В. И. Большаков, С. А. Щербак, М. А. Елисеєва, Н. В. Калиниченко // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. – Х., 2010. – Вип. 59. – С. 223–226.
8. Сергеев, А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности / А. М. Сергеев. – К. : Будівельник, 1984. – 120 с.
9. СНиП 2.03.13-88 Побы. – Взамен СНиП II-V.8-71 ; введ. 01.01.89. – М. : Госстрой СССР, 1989. – 15 с.
10. Щербак, С. А. Загальна характеристика металургійних шлаків / С. А. Щербак, Н. В. Калиниченко, М. О. Єлісеєва // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт.– Д., 2010. – № 2–3. – С. 23–28.
11. Aggarwal, V. Concrete Durability Through High Volume Fly ash Concrete / V. Aggarwal, Dr. S. M. Gupta, Dr. S. N. Sachdeva // Intern. J. of Engineering Science and Technology. – 2012. – № 2. – P. 4473–4477.
12. Marthong, C. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties / C. Marthong, T. P. Agrawal // Intern. J. of Engineering Research and Applications. – 2012. – № 2. – P. 1986–1991.
13. Raheem, A. A. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete / A. A. Raheem, B. S. Olasunkanmi, C. S. Folunso // Organization, technology and management in construction. – 2012. – № 4. – P. 474–480.
14. Review on fly ash-based geopolymers concrete without Portland Cement / A. M. M. A. Bakri, H. Mohammed, H. Kamarudin et al. // J. of Engineering and Technology Research. – 2011. – № 1. – P. 1–4.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

М. І. НЕТЕСА¹, Д. В. ПАЛАНЧУК², А. М. НЕТЕСА^{1*}

¹Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта andreynetesa@meta.ua

²Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта stroitel_p@mail.ru

^{1*}Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта andreynetesa@meta.ua

ЛЕГКІ БЕТОНИ ІЗ ЗОЛОЮ ВИНЕСЕННЯ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ТЕС

Мета. Визначення закономірностей впливу витрат компонентів легких бетонів, одержаних на основі місцевих вторинних продуктів промисловості, на їхні основні властивості за умови підвищеної ефективності використання цементу. **Методика.** Експериментальні дослідження з оптимізації складів і властивостей бетонів виконували із застосуванням методів математичного планування експериментів. Усі експерименти проведені за ортогональним планом з трьома змінними. Як варійовні фактори прийняті значення витрати застосовуваного цементу, води та домішки ПЛКП-2. **Результати.** Виконано численні експериментальні дослідження з визначення раціональних складів бетонних сумішей із використанням як заповнювачів граншлаку заводу імені Петровського і піску дніпровського, як в'язучого – криворізького портландцементу П/Б-Ш-400, а як наповнювача – золи винесення Придніпровської ТЕС. Основним критерієм раціональності складу бетону прийнято коефіцієнт ефективності використання цементу, який визначається за відношенням досягнутої міцності на одиницю маси використаного цементу. Підвищення значення цього коефіцієнта досягається за рахунок отриманої раніше закономірності раціонального зернового складу компонентів, який забезпечується при співвідношенні витрати великої фракції до середньої і до дрібної 52:23:25, а їх розмірів приблизно 100:10:1. Проведено експериментальні дослідження з використанням методу математичного планування експериментів. За результатами обробки отриманих даних побудовані ізополя залежності міцності й коефіцієнта ефективності використання цементу від досліджуваних факторів. **Наукова новизна.** Порівняльними випробуваннями міцності затверділого бетону, отриманого на основі різних місцевих вторинних ресурсів модифікованого комплексною пластифікувальною домішкою ПЛКП-2, встановлено, що найефективнішими є легкі бетони густиною 1 700...1 800 кг/м³ з межею міцності на стиск від 5 до 20 МПа на основі граншлаку заводу імені Петровського з наповнювачем із золи винесення Придніпровської ТЕС при забезпеченні раціонального зернового складу компонентів із співвідношенням складових фракцій великої до середньої і до дрібної 52:23:25. **Практична значимість.** Визначено склади легкої дрібнозернистої суміші на основі граншлаку заводу імені Петровського з наповнювачем із золи винесення Придніпровської ТЕС, модифікованої комплексною пластифікувальною домішкою ПЛКП-2, які забезпечують необхідну міцність бетону при стиску в межах 5...10 МПа при зменшеній приблизно на 20 % витраті цементу порівняно зі складами, які традиційно застосовуються з цією метою.

Ключові слова: зола винесення; цемент; вторинні продукти промисловості; ефективність; бетонна суміш; легкі бетони; граншлак; зерновий склад; наповнювач

M. I. NETESA¹, D. V. PALANCHUK², A. M. NETESA^{1*}

¹Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetesa@meta.ua

²Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail stroitel_p@mail.ru

^{1*}Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetesa@meta.ua

LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH FLY–ASH OF PRYDNIPROVSK THERMAL POWER STATION

Purpose. Determination of conformities to law of influence of expense of components of easy concretes, which turn out on the basis of local afterproducts of industry, on their basic properties under conditions of enhanceable efficiency of the use of cement. **Methodology.** Experimental studies on optimization of structures and properties of concrete were carried out with use of mathematical planning experiments methods. All experiments were carried out on orthogonal design with three variables. Cement, water and additives PLKP-2 consumption were taken as varied factors. **Findings.** Vast experimental studies on determination of rational compositions of concrete mixtures were conducted with the use as fillers of granulated slag from iron and steel plant named after Petrovskiy and Dnepr sand, as binding agent Krivoy Rog portland-cement II/B-III-400, as filler fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station. Efficiency coefficient of cement use was adopted as basic criterion of concrete composition rationality, it is determined on the relation of the attained durability per unit weight of used cement. For greater efficiency coefficient of cement use regularity of rational grain composition of components previously obtained was adopted, it is provided at a ratio of a large fraction consumption to medium and small 52:23:25, and their sizes are approximately 100:10:1. Experimental studies with use of mathematical planning experiments method were carried out. By results of their processing isofields were constructed according to the strength and effectiveness of the use of cement ratio of the studied factors. **Originality.** By strength comparative tests of hardened concrete with various local secondary resources, modified with complex plasticizer PLKP-2 additive, it was found that lightweight concrete with the density of 1700...1800 kg/m³ and concrete compressive strength from 5 to 20 MPa on the basis of granulated slag from the iron and steel plant named after Petrovskiy filled with fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station during ensuring of rational grain composition of components with a ratio of major components of the fractions to medium and small 52:23:25 are the most effective. **Practical value.** Compositions of lightweight fine grained mixture based on granulated slag from the iron and steel plant named after Petrovskiy filled with fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station and modified with complex plasticizer PLKP-2 additive were determined. They provide required concrete compressive strength within 5...10 MPa at a reduced cement consumption by approximately 20% as compared to the traditionally used compositions for these purposes.

Keywords: fly-ash; cement; after products of industry; efficiency; concrete mixture; lightweight concretes; granulated slag; filler

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Shcherbak S.A., Yeliseyeva M.A. *Povysheniye reaktivnoy sposobnosti domennogo granulirovannogo shlaka* [Increase of reactionary ability of blast-furnace granulated slag], 2011, issue 59, vol. II, pp. 34-38.
2. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Stroitelnyye mineralnyye vyazhushchiye materialy* [Building mineral binding materials]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2011. 511 p.
3. Bolshakov V.I., Yeliseyeva M.A., Shcherbak S.A., Melkozernistyye betony na osnove mekhanoaktivirovannykh domennykh granulirovannykh shlakov [Fine grained concrete on the basis of mechanoactivated blast-furnace granulated slags]. *Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian – Lithuanian Transactions*, 2012, vol. 20, pp. 431-436.
4. Miryuk O.A. Melkozernistyye betony na osnove tekhnogenogo zapolnitelya [Fine-grained concretes on the basis of technogenic filler]. *Beton i zhelezobeton v Ukraine – Concrete and reinforced concrete in Ukraine*, 2010, issue 2, pp. 5-8.
5. Netesa N.I., Palanchuk D.V. Legkiyye betony na osnove granshlaka zavoda imeni Petrovskogo [Lightweight concretes on the basis of granulated slag from the iron and steel plant named after Petrovskiy]. *Visnyk Dni-*

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- propetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 33, pp. 156-161.
6. Netesa N.I., Palanchuk D.V. *Proyektirovaniye sostavov legkikh betonov so vtorichnymi resursami Dneprovskogo regiona* [Planning of lightweight concrete compositions with the recoverable resources in Dnepr region]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue. 33, pp.180-184.
 7. Bolshakov V.I., Shcherbak S.A., Yeliseyeva M.A., Kalinichenko N.V. *Povysheniye kachestva stroitelnykh materialov za schet primeneniya tekhnogennykh otkhodov i mekhanoaktivatsii smesi* [Improving building materials quality through the use of technogenic waste and mechanical activation of the mixture]. *Naukovyi visnyk budivnytstva* [Construction Scientific Bulletin], 2010, issue 59, pp. 223-226.
 8. Sergeyev A.M. *Ispolzovaniye v stroitelstve otkhodov energeticheskoy promyshlennosti* [Use energy industry waste in construction]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1984. 120 p.
 9. SNiP 2.03.13-88. *Poly* [Floors]. Moscow, Gosstroy Publ, 1989. 15 p.
 10. Shcherbak S.A., Kalynychenko N.V., Yeliseieva M.O. *Zahalna kharakterystyka metalurhiinykh shlakiv* [General description of metallurgical slags]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniproprovsk State Academy of Construction and Architecture], 2010, issue 2-3, pp. 23-28.
 11. Aggarwal V., Dr. Gupta S.M., Dr. Sachdeva S.N. *Concrete Durability Through High Volume Fly ash Concrete*. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2012, no. 2, pp. 4473-4477.
 12. Marthong C., Agrawal T.P. *Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties*. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2012, no. 2, pp. 1986-1991.
 13. Raheem A.A., Olasunkanmi B.S., Folorunso C.S. *Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete*. *Organization, technology and management in construction*, 2012, no. 4, pp. 474-480.
 14. Bakri A.M.M.A., Mohammed H., Kamarudin H., Khairull Nizar I., Zarina Y. *Review on fly ash-based geopolymer concrete without Portland Cement*. *Journal of Engineering and Technology Research*, 2011, no. 1, pp. 1-4.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина); д.т.н., проф. В. М. Деревянко (Украина)

Поступила в редколлегию 19.06.2013

Принята к печати 22.08.2013