

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ДНЕПРОВСКОГО РЕГИОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Представлены результаты эффективного использования местных вторичных продуктов промышленности в легких бетонах, применяемых для различных изделий и конструкций, в том числе для устройства подстилающих слоев полов.

*Ключевые слова:* легкий бетон, вторичные продукты промышленности, прочность, плотность, подстилающие слои полов, цемент, эффективность

### Постановка проблемы

Развитая промышленность Днепропетровского региона предопределила значительную экологическую нагрузку на окружающую среду. Отвалы зол ГРЭС, хвостов обогащения железных руд и в несколько меньшей степени граншлака металлургических заводов занимают сотни гектаров плодородных земель. Их эксплуатация требует значительных материальных, денежных и трудовых затрат, которые не исключают загрязнение близлежащих территорий вредными и опасными для жизни всех живых существ веществами, особенно мелкозернистыми вторичными продуктами промышленности. Одним из эффективных вариантов решения этой проблемы является утилизация значительной части вторичных продуктов промышленности в бетонах.

### Обзор публикаций по проблеме

Проблемам утилизации вторичных продуктов промышленности в бетонах уделяется большое внимание, как в нашей стране, так и за рубежом [1-6]. Результаты многочисленных исследований вышеприведенных и многих других авторов дали возможность использовать золы-уноса и другие вторичные продукты промышленности при производстве различных бетонных и железобетонных конструкций. В работе [6] приведен детальный обзор 95 докладов, представленных на 15-й международный симпозиум «Управление производством и использование продуктов горения угля», организованный Американской ассоциацией угольных зол (АСАА). В представленных докладах отмечается, что в развитых капиталистических странах успешно решается важнейшая экономическая и экологическая проблема утилизации продуктов горения углей. Так, годовой объем этих продуктов в 2000-2001 гг. составил в США 107 млн. т., Европейском Союзе (ЕС) – 59 млн. т., Японии – 8,4 млн. т. Из них только

золы-уноса утилизировано за этот период в США – 61,8 млн. т., ЕС – 38,9 млн. т. Отмечается, что объемы утилизации золы-уноса в этих странах существенно опережают объемы роста их образования. При этом 56,1 % золы-уноса утизируется в качестве добавок к цементу, бетону и раствору – это ведущее направление ее использования.

### Задачи исследований

Однако в нашей стране объемы утилизации в бетонах вторичных продуктов промышленности значительно меньше, чем в развитых капиталистических странах. Несмотря на значительный спад объемов промышленного производства в нашей стране, и нашем регионе в том числе, объемы роста образования вторичных продуктов промышленности значительно опережают объемы их утилизации в бетонах и растворах. Одной из причин небольших объемов утилизации в бетонах и растворах вторичных продуктов промышленности является отсутствие закономерностей влияния рационального зернового состава компонентов бетонной смеси с вторичными продуктами промышленности на важнейшие свойства бетонов, в которых утилизируются большие объемы вторичных продуктов промышленности нашего региона. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования, направленные на поиск рациональных составов бетонов с вторичными продуктами промышленности местного региона, которые при минимально необходимом расходе цемента могут обеспечить требуемые характеристики бетонов в конкретных изделиях и конструкциях.

Проведенными нами ранее исследованиями, в том числе с применением методов математического планирования экспериментов, определены рациональные составы бетонов на основе местных вторичных продуктов промышленности с наиболее эффективным использованием цемента [7-9]. Рациональные области их ис-

пользования в строительстве можно определить, тщательно проанализировав требования действующих нормативных документов к отдельным видам изделий и конструкций.

Так, в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.03.13-88, легкий бетон стяжки, выполняемой для обеспечения нормированного теплоусвоения пола, по пределу прочности бетона на сжатие должен соответствовать классу В5. В соответствии с требованиями ГОСТ 13579-78 блоки стен подвалов, в том числе из легкого бетона, должны иметь класс бетона по прочности от В3,5 до В15. В соответствии с требованиями п. 1.3.3 ГОСТ 17079-88 блоки вентиляционные из легкого бетона должны иметь класс бетона по прочности от В7,5 и выше. Следовательно, с учетом коэффициента вариации 0,135 и масштабного коэффициента равного 0,95 (ГОСТ 10180-90, табл. 5), которым приводится прочность бетона в образцах с размером стороны куба 100 мм к прочности бетона в образце кубе базового размера 150 мм, легкий бетон стяжки должен иметь средний предел прочности на сжатие около 7,0 МПа, блоков стен подвалов от 4,5 до 21 МПа, а блоков вентиляционных от 10,0 МПа и выше. В соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-7:2008 мелкоштучные бетонные стеновые изделия, в том числе из легкого и облегченного бетонов, должны иметь предел прочности на сжатие от 1 до 20 МПа.

Учитывая полученные ранее результаты исследований [7-9], удовлетворить требованиям по пределу прочности на сжатие вышеприведенным нормативным документам можно при использовании в качестве вяжущего цемент стандартной активностью около 40,0 МПа практически с любыми из исследованных местных вторичных продуктов промышленности. Но эффективность использования цемента в исследованных составах отличается весьма существенно. Детально рассмотрим возможность использования исследованных составов для получения 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 около 7,0 МПа.

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. 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 как в 28-ми суточном, так и годичном возрасте. 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 незначительно. 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 определим, воспользовавшись полученными ранее зависимостями [7-9]. При использовании в качестве заполнителей керамзитового гравия и граншлака завода имени Петровского, 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 даже при максимальном в исследуемом диапазоне расходе воды – 250 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП около 1 % от массы цемента. Предел прочности на сжатие бетона

увеличивается при снижении расхода воды и остается значительно большим, чем требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что требуемый для наших целей предел прочности на сжатие 7,0 МПа можно получить при расходе воды около 210 литров, при котором обеспечивается достаточная удобоукладываемость бетонной смеси, и меньшем 150 кг на кубометр бетонной смеси расходе цемента. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 120 кг на кубометр бетонной смеси.

А при использовании в качестве заполнителя только граншлака завода имени Петровского и песка без керамзитового гравия, а в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднестровской 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 пластифицирующей добавки ПЛКП от 0,5 до 1,5 % от массы цемента. Предел прочности бетона на сжатие увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно такой как требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что 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.

При использовании в качестве заполнителей керамзитового гравия и граншлака завода имени Петровского, а в качестве добавки-наполнителя хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа предел прочности на сжатие 7,0 МПа можно получить при минимальном в исследуемом диапазоне расходе цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси даже при максимальном в исследуемом диапазоне расходе воды – 250 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП около 1 % от массы цемента. Предел прочности на сжатие бетона увеличивается при снижении расхода воды и остается значительно большим, чем требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить при расходе воды около 210 литров, при котором обеспечивается достаточная удобоукладываемость бетонной смеси, и меньшем 150 кг на кубометр

бетонной смеси расходе цемента. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 120 кг на кубометр бетонной смеси.

Этот же предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить при использовании в качестве заполнителя только граншлака завода имени Петровского и песка без керамзитового гравия. Для получения этой прочности необходимы в качестве добавки-наполнителя хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа, а расход цемента меньше минимального в исследуемом диапазоне расходе цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси. Расход воды требуется в диапазоне от 210 до 250 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП от 0,5 до 1,0 % от массы цемента. Прочность бетона увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно такой как требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что 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 [7-9], 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. 1 с использованием в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднестровской ГРЭС, а в табл. 2 – с использованием в качестве добавки-наполнителя хвостов обогащения железных руд Криворожского Югока.

**Составы и результаты их испытаний с использованием керамзитового гравия, граншлака завода имени Петровского, золы-уноса Приднестровской ГРЭС, цемента П/Б-Ш-400, активностью 40,5 МПа и добавки ПЛКП (Д, % от массы цемента)**

№ состава	Расход материалов на м <sup>3</sup> , кг							Уд-укл. ОК, см	Плотн. кг/м <sup>3</sup>	Предел прочн. R <sub>б</sub> <sup>28</sup> , МПа	10 R <sub>б</sub> <sup>28</sup> /Ц
	Ц	Кер	Граншл.	Зола	П	В	Д, %				
1	120	200	450	430	300	230	1,0	1,5	1,75	7,3	0,61
2	140	200	450	410	300	230	1,0	1,0	1,74	8,7	0,62
3	160	200	450	390	300	230	1,0	1,0	1,71	10,5	0,66
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

Т а б л и ц а 2

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

№ состава	Расход материалов на м <sup>3</sup> , кг							Уд-укл. ОК, см	Плотн., кг/м <sup>3</sup>	Предел прочн. R <sub>б</sub> <sup>28</sup> , МПа	10 R <sub>б</sub> <sup>28</sup> /Ц
	Ц	Кер	Граншл.	Хвосты	П	В	Д, %				
1	120	200	450	430	300	230	1,0	1,5	1,74	7,5	0,62
2	140	200	450	410	300	230	1,0	1,5	1,71	8,6	0,61
3	160	200	450	390	300	230	1,0	1,0	1,75	10,7	0,67
4	130	-	675	420	400	230	1,0	1,5	1,75	7,7	0,59
5	150	-	675	400	400	230	1,0	1,0	1,73	8,9	0,59
6	170	-	675	380	400	230	1,0	1,0	1,76	10,2	0,6

Анализом представленных в табл. 1 и 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 как при использовании в составах керамзитового гравия, так и без него. Но при этом в составах без керамзитового гравия для достижения примерно одинаковой прочности требуется примерно на 10 кг цемента на кубометр бетона больше чем в составах с керамзитовым гравием. Поскольку в производственных условиях введение дополнительного компонента в составы несколько усложняет технологический процесс, а достигаемая экономия цемента при этом незначительная, целесообразно использовать составы с заполнителем только из граншлака и песка. Кроме того керамзитовый гравий значительно дороже граншлака в нашем регионе и не является вторичным продуктом промышленности, а требует значительных энергетических затрат на его производство.

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 целесообразно принять составы № 5 из табл. 1 и 2. Следовательно, при использовании в качестве добавки-наполнителя золы уноса приднестровской ГРЭС целесообразно использовать такой номинальный состав на кубометр бетонной смеси: цемента 160 кг, граншлака завода имени Петровского 675 кг, золы уноса приднестровской 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 обо-

гащения железных руд Криворожского ЮГОКа 400 кг, песка 400 кг, воды 230 литров.

### Выводы

1. Вторичные ресурсы нашего региона могут успешно применяться для производства различных видов бетонных изделий и конструкций. Но для экономного использования цемента в этих бетонах необходимо обеспечивать рациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси с учетом цемента и других мелкозернистых компонентов, находящихся в используемых материалах.

2. Для реализации этого направления решения экономических и экологических проблем нашего региона необходимо проводить дальнейшие исследования по изучению свойств бетонов, полученных на основе вторичных продуктов.

### 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. Сергеев, А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности [Текст] / А. М. Сергеев. – К.: Будівельник, 1984. – 120 с.
3. Кривенко, П. В. Экологические аспекты внедрения новых строительных материалов и технологий [Текст] / П. В. Кривенко // Нові технології в будівництві. – 2002 – № 1 (3). – С. 14-18.

М. І. НЕТЕСА, Д. В. ПАЛАНЧУК (ДПТ)

## ЭФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ ДНІПРОВСЬКОГО РЕГІОНУ В БУДІВНИЦТВІ

Представлені результати ефективного використання місцевих відходів виробництва в легких бетонах, які можна використовувати для виготовлення різноманітних виробів і конструкцій, зокрема для влаштування шарів підлоги, які є основою для чистого шару.

*Ключові слова:* легкий бетон, вторинні продукти промисловості, міцність, щільність, шари підлоги, цемент, ефективність

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

## EFFICIENCY OF THE USE OF THE SECOND RESOURCES OF DNEPR REGION IN BUILDING

Represented results of the effective use of local afterproducts of industry in easy concretes common for different wares and constructions, in particular for the device of laying layers of floor.

*Keywords:* easy concrete, afterproducts of industry, durability, closeness, laying the layers of chaffs, cement, efficiency

4. Рунова, Р. Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів [Текст] / Р. Ф. Рунова, Ю. Л. Носовський. – К.: КНУБА, 2007. – 256 с.
5. Lyashenko, T. Compromise optimization of slag alkaline binders with computational materials science methods. Alkali Activated Materials [Текст] / Т. Lyashenko, V. Voznesensky // Research, Production and Utilization. Proc. Int. Conf. – Prague, CRA, 2007. – P. 447-458.
6. Нисневич, М. Утилизация попутных продуктов горения угля в промышленности строительных материалов [Электрон. ресурс] / М. Нисневич, Г. Сиротин // Строительные материалы. – 2003. – № 9. – С. 39-41. – Режим доступа: <http://www.first-realty.com.ua/art/4/147.html>
7. Нетеса, Н. И. Эффективность применения суперпластификаторов в низкопрочных бетонах [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Будівельні конструкції: міжвідомч. наук.-техніч. зб. наук. праць. – вип. 72. – Київ, ДП НДІБК, 2009. – С. 453-456.
8. Нетеса, Н. И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепропетровского региона [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 33. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С.180-184.
9. Нетеса, Н. И., Рациональные составы бетонов для звуко- и теплоизоляции [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Одеської держ. акад. буд-ва. та архіт-ри. – 2010. – Вип. 39. – Одеса.: Зовнішрекламсервіс, 2010. – С. 110-111.

Поступила в редколлегию 26.03.2012.

Принята к печати 09.04.2012.