

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 666.972.16:628.477.7

Н. И. НЕТЕСА\*

\* Кафедра «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 andreynetsa@meta.ua, ORCID 0000-0003-1730-7642

### ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

**Цель.** Анализ известных технологических решений утилизации вторичных продуктов промышленности. Определение эффективных вариантов, обеспечивающих необходимые характеристики полученных материалов при минимальных расходах цемента. **Методика.** Анализ отдельных технологий утилизации вторичных продуктов промышленности. Определение рациональных зерновых составов бетонных смесей с использованием вторичных ресурсов. Экспериментальная проверка эффективности использования цемента в составах со вторичными продуктами промышленности. **Результаты.** Проведен анализ различных технологических режимов утилизации вторичных продуктов промышленности в бетонах. Основное внимание уделено утилизации золы уноса Приднепровской ТЭС, отвалы которой продолжают увеличиваться и существенно загрязняют окружающую среду. За основной критерий эффективности предлагаемых технологий утилизации золы уноса Приднепровской ТЭС принят коэффициент эффективности использования цемента, определяемый по отношению достигнутой прочности бетона с максимально возможным количеством утилизации золы уноса на единицу массы использованного цемента. Для повышения эффективности использования цемента в бетонах и растворах с золой уноса Приднепровской ТЭС реализовывался рациональный зерновой состав смесей, который определен ранее. Расход каждого компонента определялся аналитическим путем с учетом его зернового состава и средней плотности, который обеспечивается при соотношении расхода крупной фракции к средней и к мелкой 52:23:25, а их размеров примерно 100:10:1 для трехкомпонентных смесей – бетонов и соотношении крупной к мелкой 70:30, а их размеров 10:1 для двухкомпонентных смесей – растворов или мелкозернистых бетонов. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие научные основы повышения эффективности использования цемента в бетонах при утилизации в них золы уноса. Сравнительными испытаниями прочности затвердевшего бетона с различными вторичными ресурсами, режимами приготовления и уплотнения бетонных смесей, модифицированного различными пластифицирующими добавками, определены закономерности и установлены рациональные режимы и составы бетонов с наполнителем золы уноса Приднепровской ТЭС, которые обеспечивают наиболее высокий коэффициент эффективности использования цемента и необходимое качество бетона. **Практическая значимость.** Определены составы бетонных смесей со вторичными ресурсами и режимы их обработки, обеспечивающие значительные объемы утилизации золы уноса Приднепровской ТЭС при эффективном использовании цемента.

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

#### Введение

Рациональное, комплексное использование природных ресурсов, предотвращение загрязнения окружающей среды, решение экологических проблем – важнейшая задача строителей в условиях мирового финансового кризиса. Строители обязаны решать эти проблемы путем максимально возможного использования вторичных продуктов промышленности в бетонах, обеспечивая их утилизацию для улучшения экологической ситуации, экономии наиболее энергоемкого продукта – цемента, следовательно

но, обеспечивая рациональное использование природных ресурсов. Важно находить такие технологические приемы, которые при минимальном расходе наиболее энергоемкой и дорогой составляющей – цемента обеспечивают необходимые физико-механические характеристики полученного продукта.

#### Цель

Определить закономерности изменения важнейших характеристик цементных бетонов в зависимости от количества утилизированной

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

в них золы уноса Приднестровской ТЭС и технологических режимов их обработки. За основной критерий эффективности технологических решений принимать количество утилизируемой золы и повышенную эффективность использования цемента.

### Результаты

Авторы [4] детально анализируют около 95 докладов, представленных на 15-й международный симпозиум «Управление производством и использование продуктов горения угля», организованный Американской ассоциацией угольных зол (АСАА). Из представленных докладов следует, что в развитых капиталистических странах важная экономическая и экологическая проблема утилизации продуктов горения углей успешно решена. Из годового объема продуктов горения углей в 2000-2001 гг. в США 107 млн. т., Европейском Союзе (ЕС) 59 млн. т., Японии 8,4 млн. т утилизировано за этот период зол уноса в США 61,8 млн. т., ЕС 38,9 млн. т. Объемы утилизации золы уноса в этих странах существенно опережают объемы роста их образования. Около 56,1 % золы уноса утилизируется в качестве добавок к цементу, бетону и раствору. На золы уноса, используемые в бетонах, разработаны стандарты ASTM C618 (США), EN 450 (ЕС). Качество высокозольных бетонов более высокое по водонепроницаемости и долговечности чем бетонов без золы. У бетонов с золой уноса более высокое сопротивление действию агрессивных сред и реакции кремниевых заполнителей со щелочами цемента. Кроме того, производители получают значительную экономию цемента.

Более половины от общего объема товарного бетона в США выпускается с использованием золы. Ее количество достигает половины от суммарной массы цемента и золы. Экономия цемента составляет до 182 кг/м<sup>3</sup> бетона, обеспечивая предел прочности бетона при сжатии в стандартном возрасте до 50 МПа. Несколько худшие результаты получены при утилизации золы, складированной гидравлическим способом. Экономия цемента составляет около 30 %, а прочность бетона до 35 МПа. В Израиле также имеется положительный опыт утилизации в бетонах больших объемов шлака и золы уноса для производства легкого бетона. Результаты

лабораторных и промышленных испытаний подтвердили эффективность таких технологических решений.

Проблемам использования зол уноса и других вторичных мелкозернистых продуктов промышленности в бетонах уделяется значительное внимание исследователей [3, 5-7, 11, 13-15]. Установлено, что основные характеристики зол, которые существенно влияют на удобоукладываемость бетонных смесей, а после их твердения на основные физико-механические характеристики затвердевшего бетона, зависят от вида сжигаемого угля, а следовательно, химического, минералогического и зернового составов получаемых зол. Наиболее существенно отличается влияние золы на вышеприведенные свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона в зависимости от содержания оксида кальция. Так, по минералогическому составу зола уноса, содержащая обычно менее 5% аналитически определяемого оксида кальция СаО, благодаря высокому содержанию кремнезема и глинозема состоит в основном из алюмосиликатного стекла, которое неактивно. А многие минералы высококальциевой золы уноса — реакционноспособны и могут придавать ей вяжущие свойства.

Кроме того, высококальциевая зола уноса обычно практически не содержит или содержит незначительное количество несгоревшего углерода. А в низкокальциевой золе уноса его содержание в виде ячеистых или кружевообразных частиц может превышать 10 %. Эти частицы имеют большую внутреннюю поверхность и поэтому способны абсорбировать значительное количество воды и химических добавок из водного раствора. Следовательно, может существенно увеличиваться водопотребность бетонной смеси.

Структура затвердевшего бетона наиболее существенно влияет на его основные физико-механические характеристики. Любые дефекты структуры (поры, трещины, неплотности) являются причиной концентрации напряжений, которые являются причиной развития трещинообразования уже на начальном этапе приложения внешней нагрузки. Эти же дефекты структуры являются основной причиной низкой морозостойкости бетонов. Замерзающая в них вода вызывает значительные внутренние напряжения, которые могут увеличивать де-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

фектность структуры, приводит к снижению прочности бетона.

Введением рационального количества золы уноса в бетонную смесь можно улучшать ее удобоукладываемость и структуру затвердевшего бетона [3, 4, 5, 14]. Но у исследователей нет единого мнения о причинах и механизме улучшения структуры бетонов с золой уноса, а главное о необходимом ее количестве в бетонной смеси. Одной из наиболее вероятных причин улучшения структуры и свойств бетонов с золой уноса некоторые исследователи считают изменение структуры пор – уменьшение крупных и увеличение мелких, а также уменьшение дефектности контактной зоны. Такое улучшение структуры возможно в результате физико-химических пуццолановых реакций компонентов золы и цемента, а также механического улучшения зернового состава компонентов и заполнения пустот между зернами заполнителя более мелкими компонентами золы [2, 4, 5, 7]. Какое из этих возможных явлений в большей мере улучшает физико-механические характеристики затвердевшего бетона с некоторым количеством золы уноса исследователи определить не могут.

Нет единого мнения исследователей и о рациональном количестве вводимой золы в бетонную смесь. Наиболее распространено введение золы уноса вместо части цемента. Ее рациональное количество определяется из условия, что прочность бетона при замене части цемента на золу не снижается. В этом случае, как правило, количество вводимой золы не превышает 20...25 % от массы цемента в бетонной смеси. Полезный эффект от введения такого количества золы исследователи объясняют пуццолановой активностью частиц золы, а также дополнительными центрами кристаллизации новообразований цемента. Но при использовании золы со значительным количеством (более 10 %) несгоревших ячеистообразных частиц кокса с размером частиц около 100 мкм эффективность введения золы существенно снижается. При этом наблюдается повышение водопотребности бетонной смеси. Исследователи объясняют это явление более развитой поверхностью частиц кокса, чем основной массы золы, которая состоит преимущественно из сферических частиц с гладкой остеклованной фактурой поверхности. Установлено, что чем больше таких частиц и, следовательно,

дисперснее зола, тем больше возрастает подвижность бетонной смеси.

Но некоторые исследователи наблюдают положительный эффект от введения несколько большего количества золы чем уменьшаемое количество цемента [2, 5, 7]. Такой положительный эффект повышения прочности бетона исследователи объясняют не только физико-химической активностью вводимого микронаполнителя, но также и его так называемой механической активностью. Исследователи считают, что при таком увеличенном расходе золы некоторая ее часть, которая не вступает во взаимодействие с компонентами цемента, заполняет пустоты между заполнителем, способствуя уменьшению дефектности структуры затвердевшего бетона. Но при значительном увеличении количества утилизируемой в бетонах золы наблюдается повышенная водопотребность смеси, значительное увеличение водоцементного отношения для обеспечения необходимой удобоукладываемости и, как следствие, снижение физико-механических характеристик бетона. Поэтому проблема рационального количества золы, утилизируемой в бетонах, остается нерешенной.

Исследователи [1, 2, 9, 10, 12] предложили технологию формования стеновых изделий с максимально возможной утилизацией золы Приднепровской ТЭС, используя смесь только лежалой золы из отвалов и цемента. В такой смеси невозможно получить рациональный зерновой состав компонентов, весь состав включает зерна примерно одинакового довольно мелкого размера. Авторы хорошо представляют все трудности получения необходимого качества стеновых материалов из такой золы, в которой несгоревших коксообразных частиц более 10 %, в некоторых случаях достигают 20 %. Поэтому, учитывая высокую водопотребность смеси и проблемы получения ее однородности, предложены эффективные режимы приготовления смеси и формования изделий.

Для обеспечения требуемых физико-механических характеристик стенового камня из таких смесей с высокой водопотребностью теоретически обоснованы и экспериментально определены специальные режимы вибровакуумирования. В результате удаления значительного количества воды затворения и уплотнения смеси удалось получить высокую прочность непосредственно после формования. Этой

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

прочности достаточно для немедленной распадаблукки изделий, следовательно, получена возможность увеличить оборачиваемость формочной оснастки.

При расходах цемента в пределах  $270 \text{ кг/м}^3$  бетона средней плотностью около  $1600 \text{ кг/м}^3$  получены предел прочности при сжатии 10,0 МПа, морозостойкость F75. Несомненным преимуществом предложенной технологии является значительные объемы утилизации (до 1000 кг на кубометр бетонной смеси) лежалой золы Приднепровской ТЭС в пригодных для применения в строительстве стеновых камнях.

К недостаткам предлагаемой технологии следует отнести относительно длительный (более 10 минут) процесс вибровакуумирования изделий. Кроме того, остается довольно низкий коэффициент эффективности использования цемента даже при такой интенсивной технологии формования изделий вибровакуумированием. Этот коэффициент эффективности использования цемента, выражающий отношение полученной прочности бетона при сжатии на один килограмм расхода цемента в кубометре бетона, является универсальным показателем эффективности используемых технологий производства бетона. Он рассчитывается как отношение достигнутой десятикратной прочности при сжатии в стандартном возрасте к расходу цемента на кубометр бетона. Следовательно, при прочности вибровакуумированного бетона 10 МПа и расходе цемента  $270 \text{ кг/м}^3$  бетона он равен 0,37. Даже для бетонов такой плотности это довольно низкий показатель. При стандартных методах уплотнения без вакуумирования из таких смесей авторами получен этот показатель еще меньше.

Используя полученные нами ранее закономерности обеспечения рационального зернового состава компонентов [8], нами получен более высокий коэффициент эффективности использования цемента. Но при этом объемы утили-

зации вторичных ресурсов, в том числе золы уноса Приднепровской ТЭС, были значительно меньше, чем у вышеприведенных авторов [1, 2, 9, 10, 12]. Для проверки возможности утилизации в бетонах, из которых можно изготавливать стеновые блоки, значительного количества золы уноса Приднепровской ТЭС, нами проведены специальные экспериментальные исследования.

В качестве вяжущего использовали Криворожский портландцемент П/Б-Ш-400, удовлетворяющий требованиям ДСТУ Б В.2.7-46-96. Активность цемента по ГОСТ 310.4-81 составляла 40,9 МПа. В качестве заполнителя использовали граншлак завода имени Петровского. Его зерновой состав приведен в табл. 1.

В качестве мелкого заполнителя и наполнителя использовали золу уноса из отвалов Приднепровской ТЭС. Размеры зерен основной части золы практически такие же, как цемента. Только примерно 20 % зерен незначительно больше зерен основной массы цемента. Это, вероятно, преимущественно коксообразные негоревшие частицы.

Таблица 1

Результаты расцева граншлака

Остаток на ситах	Размеры отверстий сит, мм						
	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16
Частные	4,1	34,7	35,2	15,4	7,3	1,5	1,8
Полные	4,1	38,8	74,0	89,4	96,7	98,2	100,0

Получить рациональный зерновой состав смеси из имеющихся составляющих, в котором по полученным нами ранее закономерностям [8] обеспечивается рациональный зерновой состав, сложно. Зерновой состав этой золы уноса представлен в табл. 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав золы уноса Приднепровской ТЭС

Содержание в % по массе фракций размером, мкм						
менее 5	6...20	21...35	36...50	51...65	66...80	более 80
14,2	15,4	22,7	12,4	9,8	7,3	18,2

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Как известно [8], для обеспечения рационального зернового состава компонентов бетонной смеси, при которой обеспечивается наибольшая эффективность использования цемента, необходимо для трехкомпонентной смеси иметь соотношение крупной фракции к средней и к мелкой 52:23:25, а для двухкомпонентной – 70:30. При этом средневзвешенный размер зерен близлежащих фракций должен отличаться примерно в десять раз – для трехкомпонентной смеси должен быть 100:10:1, а двухкомпонентной – 10:1. Из анализа гранулометрического состава исходных компонентов бетонной смеси граншлака и золы уноса следует, что обеспечить требуемое соотношение сложно. Добиваться требуемого соотношения рассевом фракций, частичного измельчения отдельных из них с последующим смешиванием в требуемых пропорциях потребует значительных затрат. Наиболее целесообразно подбирать наиболее близкий к рациональному состав из имеющихся компонентов.

В граншлаке фракций с размером зерен более 1,25 мм, а средним размером зерен около 2,5-3,0 мм 74 % от общего количества граншлака. Фракций в 10 раз меньших с размером зерен около 0,25 мм (250 мкм) в необходимом количестве в граншлаке и золе нет. Есть некоторое количество фракций с размером зерен около 100 мкм, что примерно в 25 раз меньше крупной фракции. Есть достаточное количество фракций в 80...100 раз меньше крупной фракции. Поэтому целесообразно этими фракциями восполнять необходимое количество средних фракций.

Имеющиеся в шлаке фракции размером менее 1,25 мм, средний размер зерен которых составляет примерно 400...500 мкм можно рассматривать как крупные для двухфракционной смеси. Для обеспечения рационального зернового состава с этими фракциями необходимо требуемое количество фракций со средним размером зерен около 40...50 мкм. Таких фракций достаточно в золе в цементе.

Таким образом, из имеющихся компонентов можно обеспечить трехфракционный зерновой состав, в котором соотношение фракций по размеру и количеству в неполной мере могут обеспечить рациональный зерновой состав с минимальной пустотностью. Кроме того, можно обеспечить некоторое количество двухфракционного зернового состава с рациональным

соотношением зерен по размерам и количеству, обеспечивающим минимальную пустотность смеси. Проведенными нами ранее экспериментальными исследованиями установлено, что при смешивании двух и более составов с рациональным зерновым составом компонентов их смесь остается рациональной, обеспечивая минимальную пустотность, а следовательно, наибольшую эффективность использования цемента. Недостающих фракций среднего размера целесообразно восполнить необходимым количеством речного днепровского песка.

На основе вышеприведенных закономерностей обеспечения рационального зернового состава компонентов с учетом их плотности нами запроектированы приведенные в табл. 3 составы с использованием местных вторичных продуктов промышленности. В этих составах расход граншлака завода имени Петровского и речного днепровского песка не изменялся. А расход золы уноса Приднепровской ТЭС изменялся по мере изменения расхода цемента, чтобы обеспечить необходимое количество наиболее мелкой фракции не изменяя рациональный зерновой состав компонентов. Для улучшения удобоукладываемости бетонной смеси использовалась добавка ПЛКП-2, расход которой принимался в процентах от массы цемента.

Анализом представленных в табл. 3 результатов испытания контрольных образцов бетона в 28-ми суточном возрасте установлены следующие закономерности. Прочность бетона в исследуемом диапазоне расхода цемента возрастает практически пропорционально увеличению расхода цемента. Коэффициент эффективности использования цемента остается примерно на одном достаточно высоком для легких бетонов уровне. Этот коэффициент эффективности использования цемента примерно в полтора раза выше, чем полученный авторами [1, 2, 9, 10, 12] при использовании довольно сложной технологии формирования изделий.

### Выводы

1. Важно обеспечивать рациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси при использовании вторичных продуктов местного региона для обеспечения достаточно высокой эффективности использования цемента и тре-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

буемых физико-механических характеристик затвердевшего легкого бетона.

2. При проектировании составов бетонной смеси на основе местных вторичных продуктов

промышленности для конкретных изделий и конструкций необходимо обеспечивать рациональный зерновой состав компонентов.

Таблица 3

**Составы и результаты их испытаний с использованием граншлака завода имени Петровского, золы уноса Приднепровской ТЭС, цемента П/Б-Ш-400, активностью 40,9 МПа и добавки местного производства ПЛКП-2 (Д, % от массы цемента)**

№ со- става	Расход материалов на м <sup>3</sup> , кг						Уд.-укл. ОК, см	Плотн.к г/м <sup>3</sup>	Предел прочн. R <sub>6</sub> <sup>28</sup> , МПа	10 R <sub>6</sub> <sup>28</sup> /Ц
	Ц	Гран шл.	Зола	П	В	Д, %				
1	130	670	420	400	230	1,0	1,5	1770	7,1	0,55
2	160	670	390	400	230	1,0	1,5	1780	8,4	0,52
3	190	670	360	400	230	1,0	1,0	1760	9,5	0,5
4	220	670	330	400	230	1,0	2,0	1780	11,8	0,54
5	250	670	300	400	230	1,0	1,5	1770	12,9	0,52
6	280	670	270	400	230	1,0	1,5	1790	15,9	0,57

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Аббасова, А. Р. Рациональное использование золошлаковых смесей, зол и шлаков ТЭС в технологии бетонов [Текст] / Н. В. Савицкий, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Бетон и железобетон. – Москва : 2014. – № 3. – С. 28-31.
- Аббасова, А. Р. Структурная прочность золобетонов [Текст] / Н. В. Савицкий, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ГВУЗ «ПГАСА», 2014. – Вып. 77. – С. 200-206.
- Волженский, А. В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. Л. Иванов, Б. Н. Виноградов. — Москва : Стройиздат, 1984. – 216 с.
- Добавки в бетон [Текст] : под ред. В. С. Рамачандрана. – Москва : Стройиздат, 1988. – 575с.
- Красный, И. М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей [Текст] / И. М. Красный // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10-11.
- Краснюк, А. Вибір ефективних матеріалів для гідротехнічного бетону [Текст] / А. Краснюк, В. Момот, Н. Нікіфорова // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2013. – Вип. 4. – С. 12-18.
- Момот, В. Проблеми управління технологічними властивостями гідротехнічних бетонних сумішей [Текст] / В. Момот // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 5. – С. 56-61.
- Нетеса, Н. И. Легкие бетоны на основе граншлака завода имени Петровского / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук [Текст] // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 156-161
- Нетеса, Н. И. Легкие бетоны с золой уноса Приднепровской ТЭС [Текст] / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук, А. Н. Нетеса // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 4. – С. 36-40.
- Савицкий, Н. В. Технология производства вакуумированных золобетонных стеновых блоков [Текст] / Н. В. Савицкий, А. Р. Аббасова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ : ГВУЗ «ПГАСА», 2015. – № 6. – С. 17-26.
- Щерба, В. В. Модифицированный мелкозернистый бетон для железобетонных конструкций [Текст] : В 2-х кн. Кн. 2 / В. В. Щерба, А. А. Шишкин, А. А. Шишкина // Будівельні конструкції : Міжвідомчий наук.-технічн. зб. наук. праць (Будівництво). – Київ : ДП НДІБК, 2013. – Вип. 78. – С. 391-395.
- Savitskyi N., Pavlenko T., Abbasova A. Properties of thermal power plants ash and concretes made on its basis. Theoretical Foundations of Civil Engineering. Warsaw : WUT, 2014, vol. 22. pp. 33-38.
- 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, vol. 2. pp. 4473-4477.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

14. Marthong C., Agrawal T. P., Marthong C. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties. International Journal of Engineering Research and Applications, 2012, vol. 2. pp. 1986-1991.
15. Raheem A. A., Olasunkanmi B. S., Folorunso C. S., Raheem A. A. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete. Organization, technology and management in construction, 2012, vol. 4. pp. 474-480.

М. І. НЕТЕСА\*

\* Кафедра. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010 Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (067) 195 50 27, ел пошта andreynetes@meta.ua, ORCID 0000-0003-1730-7642

## ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ

**Мета.** Аналіз відомих технологічних рішень утилізації вторинних продуктів промисловості. Визначення ефективних варіантів, що забезпечують необхідні характеристики отриманих матеріалів при мінімальних витратах цементу. **Методика.** Аналіз окремих технологій утилізації вторинних продуктів промисловості. Визначення раціональних зернових складів бетонних сумішей з використанням вторинних ресурсів. Експериментальна перевірка ефективності використання цементу в складах з вторинними продуктами промисловості. **Результати.** Проведено аналіз різних технологічних режимів утилізації вторинних продуктів промисловості в бетонах. Основну увагу приділено утилізації золи виносу Придніпровської ТЕС, відвали якої продовжують збільшуватися і значно забруднюють навколишнє середовище. За основний критерій ефективності запропонованих технологій утилізації золи виносу Придніпровської ТЕС прийнятий коефіцієнт ефективності використання цементу, який визначається по відношенню досягнутої міцності бетону з максимально можливою кількістю утилізації золи виносу на одиницю маси використаного цементу. Для підвищення ефективності використання цементу в бетонах і розчинах з золою виносу Придніпровської ТЕС реалізовувався раціональний зерновий склад сумішей, який визначений раніше. Витрати кожного компоненту визначалися аналітичним шляхом з урахуванням його зернового складу і середньої щільності, який забезпечується при співвідношенні витрат великої фракції до середньої і до дрібної 52:23:25, а їх розмірів приблизно 100: 10: 1 для трикомпонентних сумішей - бетонів і співвідношенні великої до дрібної 70:30, а їх розмірів 10: 1 для двокомпонентних сумішей - розчинів або дрібнозернистих бетонів. **Наукова новизна.** Отримали подальший розвиток наукові основи підвищення ефективності використання цементу в бетонах при утилізації в них золи виносу. Порівняльними випробуваннями міцності затверділого бетону з різними вторинними ресурсами, режимами приготування і ущільнення бетонних сумішей, модифікованого різними пластифікуючими добавками, визначені закономірності і встановлено раціональні режими та склади бетонів з наповнювачем золи виносу Придніпровської ТЕС, які забезпечують найбільш високий коефіцієнт ефективності використання цементу і необхідну якість бетону. **Практична значимість.** Визначені склади бетонних сумішей з вторинними ресурсами і режими їх обробки, що забезпечують значні обсяги утилізації золи виносу Придніпровської ТЕС при ефективному використанні цементу.

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

М. І. NETESA

\* Department "Build production and geodesy" of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetes@meta.ua, ORCID 0000-0003-1730-7642

## PROBLEMS UTILIZATION OF SECONDARY RESOURCES

**Purpose.** Analysis of known technological solutions utilization of secondary products of industrial-ness. Determination of the effective options that provide the necessary characteristics of the material with minimum consumption of cement. **Methodology.** Analysis of individual technologies of utilization of secondary products industry. Definition of rational grain composition of concrete mixes using recycled resources. Experimental verification of the effectiveness of the cement used in formulations with the secondary products of the industry. **Findings.** The analysis of the various techno-logical modes recycling industry by-products in concrete. The focus is on utilization of fly ash

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Dnieper TPP, which dumps continue to increase and significantly pollute the environment. For the main criterion effectiveness of the proposed technologies of recycling fly ash adopted Dnieper TPP efficiency ratio of cement, which is determined in relation of concrete strength achieved with the greatest possible number of recycling fly ash per unit mass of cement used. To increase the efficiency of cement concrete and solutions with ash removal Dnieper TPP implemented reasonable grain composition formula that is defined earlier. Consumption of each component was determined by analytical view of its grain structure and an average density that is provided at a ratio of discourse of coarse fraction to the mean and petty to 52:23:25, and their size about 100: 10: 1 for three-way mixtures – concrete and the ratio of large to small 70-30, and their sizes of 10: 1 for two-component mixtures – fine-grained solutions or concrete. **Originality.** We got further development of scientific-WIDE bases of increase of efficiency of cement used in concrete for disposal of fly ash in them. Comparative tests of the strength of the hardened concrete with various secondary resources, modes of preparation and compaction of concrete mixtures modified by various plasticizing-forming additives are defined patterns and set rational modes and compositions of concrete with fly ash filler ash Dnieper TPP, which provide the highest efficiency factor of cement use and the required quality of the concrete. **Practical value.** The composition of concrete with secondary resources and modes of processing, providing significant amounts of fly ash utilization in the Dnieper TPP effective use of cement.

**Keywords:** fly ash; cement; secondary industry products; efficiency; concrete mix; lightweight concrete; granulated slag; grain structure; filler

## REFERENCES

1. Savytskyi N. V., Pavlenko T. M., Abbasova A. R. Ratsionalnoe yspolzovanye zoloshlakovykh smesei, zol y shlakov TЭС v tekhnolohyy betonov [Rational use of ash and slag mixtures, ash and TPP slag in concrete technology]. *Beton i zhelezobeton – Concrete and reinforced concrete*, 2014, no. 3, pp 28-31.
2. Savytskyi N. V., Pavlenko T. M., Abbasova A. R. Strukturnaia prochnost zolobetonov [Structural strength ash concrete]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie – Construction, materials science, mechanical engineering*, 2014, vol. 77, pp. 200-206.
3. Volzhenskiy A. V., Yvanov Y. L., Vynogradov B. N. *Prymenenye zol y shlakov v proyzvodstve stroitelnykh materialov* [The use of ash and slag in the production of building materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 216 p.
4. Ramachandran V. S. *Dobavky v beton* [Concrete admixtures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 575 p.
5. Krasnyy I. M. O mekhanizme povysheniya prochnosti betona pry vvedenyy mykronapolnytelei [On the mechanism of increasing the strength of concrete with the introduction microfillers]. *Beton i zhelezobeton – Concrete and reinforced concrete*, 1987, no. 5, pp. 10-11.
6. Krasniuk A.V., Momot V. V., Nikiforova N. A. Vybir efektyvnykh materialiv dlia hidrotekhnichnogo betonu [Choosing effective materials for hydraulic concrete]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2013, issue 4, pp. 12-18.
7. Momot V.V Problemy upravlinnia tekhnolohichnyimi vlastyvostiamy hidrotekhnichnykh betonnykh sumishei [Problems of technological properties of hydraulic concrete]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2014, issue 5, pp. 56-61.
8. Netesa N. Y., Palanchuk D. V. Lehkye betony na osnove hranshlaka zavoda ymeny Petrovskoho [Light concretes based granshlak Petrovsky factory]. *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 35, pp. 156-161.
9. Netesa N. Y., Palanchuk D. V., Netesa A. N. Lehkye betoni s zoloi unosa Prydneprovskoi TES [Lightweight concrete with fly ash Dnieper TPP]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 4, pp. 36-40.
10. Savytskyi N. V., Abbasova A. R. Tekhnolohiya proyzvodstva vakuumyrovannikh zolobetonnykh stenovykh blokov [Production technology of vacuum concrete wall blocks]. *Visnyk Prydneprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture], 2015, issue 6, pp. 17-26.
11. Shcherba V. V., Shyshkyn A.A., Shyshkyna A.A. Modyfytirovannii melkozernystii beton dlia zhelezobetonnykh konstruktiv [Modified fine-grained concrete for reinforced concrete structures]. *Budivelni konstruktiv. Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk naukovykh prats (Budivnytstvo)* [Building construction. Scientific and technical collection of scientific works (Construction)], 2013, issue 78, pp 391-395.
12. Savitskiy N., Pavlenko T., Abbasova A. Properties of thermal power plants ash and concretes made on its basis. *Theoretical Foundations of Civil Engineering*. Warsaw : WUT, 2014, vol. 22, pp. 33-38.



---

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

---

13. 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, vol. 2, pp. 4473-4477.
14. Marthong C., Agrawal T. P., Marthong C. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2012, vol. 2, pp. 1986-1991.
15. Raheem A. A., Olasunkanmi B. S., Folorunso C. S., Raheem A. A. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete. *Organization, technology and management in construction*, 2012, vol. 4, pp. 474-480.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф., А. А. Плугиным (Україна).

Поступила в редколлегию 19.10.2015.

Принята к печати 21.12.2015.