

УДК 666.972.16

## ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ГРАНШЛАКА

НЕТЕСА Н. И. <sup>1\*</sup> д. т. н., проф.,ПАЛАНЧУК Д. В. <sup>2\*</sup> к. т. н.

<sup>1\*</sup> Кафедра строительного производства и геодезии, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна, 49010, Днепропетровск, ул ак. Лазаряна, 2, тел. +38(067)195-50-27, ORCID ID 0000-0003-1730-7642

<sup>2\*</sup> Кафедра строительного производства и геодезии, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна, 49010, Днепропетровск, ул ак. Лазаряна, 2, тел. +38(067)560-18-38, stroitel-p\_dnepr@mail.ru

**Аннотация. Постановка проблемы.** Бетоны невысокой прочности целесообразно получать с использованием местных вторичных ресурсов для их утилизации и снижения экологической нагрузки на окружающую среду. Но при этом важно проектировать такие составы бетонов с пониженным расходом цемента. Известно, что 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. Поэтому важно найти закономерности определения составов легких бетонов на основе местных вторичных продуктов промышленности с повышенной эффективностью использования цемента в них. **Цель работы** – на основе анализа проведенных ранее результатов исследований, в том числе с применением методов математического планирования экспериментов, определить составы бетонов, которые могут обеспечить требования к подстилающим слоям пола, предел прочности, при сжатии которых должен соответствовать классу В5. При этом важно обеспечить требуемую прочность при минимальном расходе цемента, который является наиболее дорогой и энергоемкой составляющей бетона. **Выводы.** Анализом представленных результатов испытания контрольных образцов бетона в 28-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. Для гарантированного обеспечения требуемой нормативной прочности бетона в подстилающих слоях пола 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. Таким образом, 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. Для обеспечения требуемой прочности легкого бетона класса В5 на основе местных вторичных продуктов промышленности достаточно 150 кг цемента на кубометр бетонной смеси.

**Ключевые слова:** легкий бетон, вторичные продукты промышленности, прочность, плотность, стеновой материал, цемент, эффективность

## ЛЕГКІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ ГРАНШЛАКУ

НЕТЕСА М. І. <sup>1\*</sup> д. т. н., проф.,ПАЛАНЧУК Д. В. <sup>2\*</sup> к. т. н.

<sup>1\*</sup> Кафедра будівельного виробництва та геодезії, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, 49010, Дніпропетровськ, вул ак. Лазаряна, 2, тел. +38(067)195-50-27, ORCID ID 0000-0003-1730-7642

<sup>2\*</sup> Кафедра будівельного виробництва та геодезії, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, 49010, Дніпропетровськ, вул ак. Лазаряна, 2, тел. +38(067)560-18-38, stroitel-p\_dnepr@mail.ru

**Анотація. Постановка проблеми.** Бетони невисокої міцності доцільно отримувати з використанням місцевих вторинних ресурсів для їх утилізації та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище. Але при цьому важливо проектувати такі склади бетонів зі зниженою витратою цементу. Відомо, що коефіцієнт ефективності використання цементу у важких бетонах класу В10 і менше становить приблизно 0,5, що майже вдвічі менше, ніж у бетонах класу В15 і вище. Ще нижчий коефіцієнт ефективності використання цементу в легких бетонах низької міцності. Тому важливо знайти закономірності визначення складів легких бетонів на основі місцевих вторинних продуктів промисловості з підвищеною ефективністю використання цементу в них. **Мета роботи** – на основі аналізу проведених раніше результатів досліджень, у тому числі із застосуванням методів математичного планування експериментів, визначити склади бетонів, які можуть забезпечити вимоги до підстилкових шарів підлоги, межа міцності при стиску яких повинна відповідати класу В5. При цьому важливо забезпечити необхідну міцність при мінімальній витраті цементу, який є найбільш дорогою і енергоємною складовою бетону. **Висновки.** Аналізом наведених результатів випробування контрольних зразків бетону в 28-добовому віці встановлені такі закономірності. Необхідну межу міцності

бетону на стиск 7,0 МПа можна отримати в досліджуваному діапазоні за умови використання у складах як наповнювача як золи виносу Придніпровської ГРЕС, так і хвостів збагачення залізних руд Криворізького ПГЗК. Для гарантованого забезпечення необхідної нормативної міцності бетону в підстилкових шарах підлоги доцільно використовувати такий номінальний склад на кубометр бетонної суміші: цементу 160 кг, граншлаку заводу імені Петровського 675 кг, золи виносу Придніпровської ГРЕС 390 кг, піску 400 кг, води 230 літрів. Таким чином, за умови забезпечення раціонального зернового складу компонентів можна отримати легкі бетони заданої міцності на основі граншлаку заводу імені Петровського, використовуючи як наповнювачі хвости збагачення залізних руд Криворізького ПГЗК або золи виносу Придніпровської ГРЕС. Для забезпечення необхідної міцності легкого бетону класу В5 на основі місцевих вторинних продуктів промисловості досить 150 кг цементу на кубометр бетонної суміші.

**Ключові слова:** *легкий бетон, вторинні продукти промисловості, міцність, щільність, стіновий матеріал, цемент, ефективність*

## LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED GRANSHLAK

NETESA M. I. <sup>1\*</sup>*Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

PALANCHUK D. V. <sup>2\*</sup>*Ph.D.*

<sup>1\*</sup> Department of construction industry and geodesy, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 49010, Dnepropetrovsk, st ak. Lazarian, 2 tel. +38(067)195-50-27, ORCID ID 0000-0003-1730-7642

<sup>2\*</sup> Department of construction industry and geodesy, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 49010, Dnepropetrovsk, st ak. Lazarian, 2 tel. +38(067)560-18-38, stroitel-p\_dnepr@mail.ru

**Summary. Raising of problem.** Concrete advisable to obtain a low strength with local secondary resources for recycling and reduce the environmental burden on the environment. But it is important to design such concrete compositions with a reduced flow of cement. It is known that the coefficient of efficiency of use of cement in the concrete of the heavy and B10 is less than about 0.5, which is almost two times smaller than in class B15 concrete and above. Even lower coefficient of efficiency in light concrete cement low strength. Therefore, it is important to find patterns determining the composition of lightweight concrete based on local-products industry with more efficient use of cement in them. **Purpose.** Based on the analysis of earlier research results, including with the use of methods of mathematical planning of experiments to determine the concrete contents, which can provide the requirements for the underlying layers of the floor, the compressive strength of which should correspond to the class B5. It is important to provide the required strength at minimum flow of the cement, which is the most expensive and energy-intensive part of concrete. **Conclusion.** Analysis of the test results of control samples of concrete in 28-day-old, the following laws. The required tensile strength of concrete compressive strength of 7.0 MPa can be obtained in the test range when used in formulations as a filler as the Dnieper hydroelectric power station fly ash and tailings Krivoy Rog iron ore YuGOK. To ensure providing the required characteristic strength of the concrete in the underlying layers of the floor is advisable to use a nominal composition per cubic meter of concrete: cement 160 kg granshlaka Plant named after Petrovsky, 675 kg of fly ash Dnieper HPP 390 kg, 400 kg of sand, 230 liters of water. Thus, while ensuring rational grain composition components can obtain the desired strength lightweight concrete based granshlaka plant Petrovsky, using as fillers tailings Krivoy Rog iron ore YuGOK or fly ash Dnieper TPP. In order to ensure the required strength lightweight concrete class B5 based on local-products industry enough cement to 150 kg per cubic meter of concrete.

**Keywords:** *lightweight concrete secondary products industry, strength, density, wall material, cement*

**Постановка проблеми.** Бетони невисокої прочності необхідні в конструкціях зданий и сооружений в больших объемах. Например, для перегородок в жилых и общественных зданиях, подстилающих слоях полов необходимы штучные изделия с прочностью до 10 МПа, но как можно меньшей средней плотностью для снижения нагрузок на перекрытие. Кроме того, такие бетоны с низкой средней плотностью имеют хорошие звукоизоляционные свойства, что также весьма важно. Эти бетоны целесообразно получать с использованием местных вторичных ресурсов для их утилизации и снижения экологической нагрузки на окру-

жающую среду. Но при этом важно проектировать такие составы бетонов с пониженным расходом цемента. Эта проблема до сих пор не решена. Известно, что 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. Поэтому важно найти закономерности определения составов легких бетонов на основе местных вторичных продуктов промышленности с повышенной эффективностью использования цемента в них.

**Анализ публикаций по проблеме.** Проблемам утилизации в бетонах вторичных продуктов промышленности, особенно зол уноса тепловых электростанций, и эффективного использования цемента в таких бетонах посвящено много работ [1; 2; 5–8; 10–13]. 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 [3; 4].

**Цель статьи.** На основе анализа проведенных ранее результатов исследований, в том числе с применением методов математического планирования экспериментов, определить составы бетонов, которые могут обеспечить требования п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 [9] к подстилающим слоям пола, а также некоторым стеновым штучным изделиям. В частности, в этих нормах для обеспечения нормированного теплоусвоения пола рекомендуется использовать легкий бетон стя-

жек, 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 таблице 1.

Таблица 1

**Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов**

Код	Натуральные значения		
	Ц, кг (X <sub>1</sub> )	В, л (X <sub>2</sub> )	Д, % (X <sub>3</sub> )
-1	150	210	0,5
0	250	230	1,0
+1	350	250	1,5

Расход цемента принят в килограммах, воды в литрах на кубометр бетона, а расход добавки ПЛКП-2 – в процентах от массы цемента. При изменении расхода цемента изменялся и расход золы уноса Приднeпровской 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.

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

факторов.

Эффективность использования цемента стандартной активности во всем диапазоне исследований предела прочности бетона на сжатие в 28-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 несущественно.

Кроме того, визуальными наблюдениями установлено, что бетонная смесь доста-

точно 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.

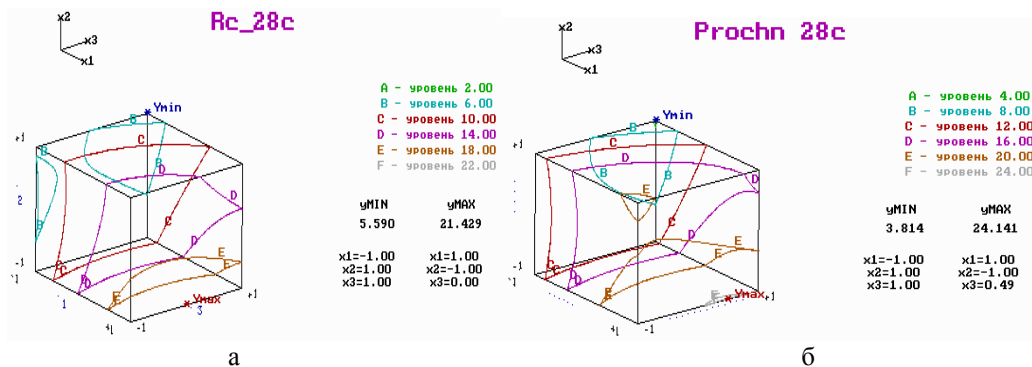


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности бетона в 28-суточном возрасте от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя: а – золы уноса Приднeпровской ГРЭС; б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

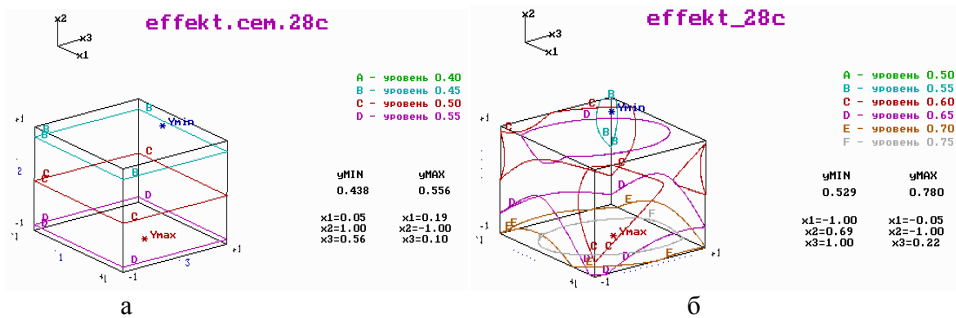


Рис. 2. Номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне 28-суточного возраста от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя: а – золы уноса Приднeпровской ГРЭС; б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

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 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 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 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 рисунках 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 пластифицирующей добавки ПЛКП-2 от 0,5 до 1,5% от массы цемента (см. рис. 1а).

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. 1б). 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-суточном возрасте представлены в таблице 2 с использованием в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ГРЭС и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

Анализом представленных в таблице 2 результатов испытания контрольных образцов бетона в 28-суточном возрасте установлены следующие закономерности. Требуе-

мый 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 может изменяться влажность компонентов, трудно обеспечить точную дозировку ком-

понентов, 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 таблице 2.

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	Плотн., кг/м <sup>3</sup>	Предел прочн., R <sub>6</sub> <sup>28</sup> , МПа	10 R <sub>6</sub> <sup>28</sup> /Ц
	Ц	Хвосты	Граншлак.	Зола	П	В	Д,%				
1	130	420	675	-	400	230	1,0	1,5	1,75	7,7	0,59
2	150	400	675	-	400	230	1,0	1,0	1,73	8,9	0,59
3	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

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 150 кг цемента на кубометр бетонной смеси.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Волженский А. В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. Л. Иванов, Б. Н. Виноградов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Иванов И. А. Легкие бетоны с применением зол электростанций / И. А. Иванов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1986. – 136 с.
3. Нетеса Н. И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепропетровского региона / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Наука та прогресс транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 180–184.
4. Нетеса Н. И. Легкие бетоны на основе граншлака завода им. Петровского / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Наука та прогресс транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 156–161.
5. Панасюк В. А. Изменение основных физических характеристик бетона во времени / В. А. Панасюк, С. В. Сильченко, Н. О. Загорчменная // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Одеса, 2013. – Вип. 51. – С. 203–207.

6. Панасюк В. А. Усталостная стойкость зрелого бетона в условиях многократного увлажнения-высушивания / В. А. Панасюк // Тенденции формирования науки нового времени : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конференции, 27-28 февраля 2013 г. / отв. ред. А. А. Сукиасян. – Уфа, 2014. – Ч. 4. – С. 183–187.
7. Панасюк В. А. Стойкость зрелых бетонов в условиях многократного замораживания и оттаивания / В. А. Панасюк, С. В. Сильченко, Н. О. Закорчменная // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Одеса, 2014. – Вип. 53. – С. 274–278.
8. Пунагін В. Н. Проективання складів гідротехнічного бетону / В. Н. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Дніпропетровськ : Арт-Прес, 1998. – 192 с.
9. Полы : СНиП 2.03.13-88 / Гос. строит. комитет СССР. – Взамен СНиП II-В.8-71 ; введ. 1989-01-01. – Москва : Госстрой СССР, 1989. – 15 с.
10. Castel A. Bond strength between blended slag and Class F fly ash geopolymer concrete with steel reinforcement / Arnaud Castel, Stephen J. Foster // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 72. – June. – P. 48–53.
11. Feng N.-Q. High-strength and flowing concrete with a zeolitic mineral admixture / Feng Nai-Qian, Li Gui-Zhi, Zang Xuan-Wu // Cement, Concrete and Aggregates. – 1990. – Vol. 12, iss. 2. – P. 61–69.
12. Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash / Hong S. Wong, Robert Barakat, Abdulla Alhilali, Mohamed Saleh, Christopher R. Cheeseman // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 70. – April. – P. 9–20.
13. Development lengths of high-strength self-consolidating concrete beams / Royce W. Floyd, Edmundo D. Ruiz, Nam H. Do, Blake W. Staton, and W. Micah Hale // PCI journal. – 2011. – Vol. 56, iss. 1. – P. 36–53.

## REFERENCES

1. Volzhenskij A.V., Ivanov I.L. and Vinogradov B.N. *Primenenie zol i shlakov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Application of ashes and slags in the building materials production]. Moskva: Stroyizdat, 1984, 216 p. (in Russian).
2. Ivanov I.A. *Legkie betony s primeneniem zol elektrostansij* [Easy concretes with the ashes use of power stations]. Moskva: Stroyizdat, 1986, 136 p. (in Russian).
3. Netesa N.I. and Palanchuk D.V. *Proektirovanie sostavov legkikh betonov so vtorichnymi resursami Dneprovskogo regiona* [Planning of easy concretes compositions with the secondary resources of the Dnepropetrovsk region]. *Nauka ta progress transport. Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transportu imeni akademika V.Lazarjana* [Science and progress of transports. Bulletin of the Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, 2010, pp. 180-184. (in Russian).
4. Netesa N.I. and Palanchuk D.V. *Legkie betony na osnove granshlaka zavoda im. Petrovskogo* [Easy concretes based on granite slag of Petrovskii plant]. *Nauka ta progress transport. Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transportu imeni akademika V.Lazarjana* [Science and progress of transports. Bulletin of the Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, 2010, iss. 33, pp. 156-161. (in Russian).
5. Panasyuk V.A., Silchenko S.V. and Zakorchemnaya N.O. *Izmenenie osnovnykh fizicheskikh kharakteristik betona vo vremeni* [Changing the basic physical characteristics of concrete in time]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arhitektury* [Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture]. Odessa, 2013, iss. 51, pp. 203-207. (in Russian).
6. Panasyuk V.A. *Ustalostnaya stojkost' zrelogo betona v usloviyakh mnogokratnogo uvlazhneniya-vysushivaniya* [Fatigue resistance of mature concrete under repeated wetting – drying]. *Tendentsii formirovaniya nauki novogo vremeni* [Trends in the formation of modern science]. Ufa, 2014, iss. 4, pp. 183-187. (in Russian).
7. Panasyuk V.A., Silchenko S.V. and Zakorchemnaya N.O. *Stojkost' zrelykh betonov v usloviyakh mnogokratnogo zamorazhivaniya i ottaivaniya* [Mature concrete resistance under repeated freezing and thawing]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arhitektury* [Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture]. Odessa, iss. 53, 2014, pp. 274-278. (in Russian).
8. Punagin V.N., Pshinko O.M. and Rudenko N.M. *Proektuvannia skladiv gidrotekhnichnogo betonu* [Planning of hydrotechnical concrete syllables]. Dnipropetrovsk: Art-Pres, 1998, 192 p. (in Ukrainian)
9. Gos. stroit. komitet SSSR. *Poly: SNiP 2.03.13-88* [Floors: State Building Code 2.03.13-88]. Moskva: Gosstroy USSR, 1989, 15 p. (in Russian).
10. Castel A. and Foster S.J *Bond strength between blended slag and Class F fly ash geopolymer concrete with steel reinforcement. Cement and Concrete Research.* 2015, vol. 72, pp. 48–53.
11. Feng Nai-Qian, Li Gui-Zhi and Zang Xuan-Wu. *High-strength and flowing concrete with a zeolitic mineral admixture. Cement, Concrete and Aggregates.* 1990, vol. 12, iss. 2, pp. 61-69.
12. Hong S.W., Barakat R., Alhilali A., Saleh M. and Cheeseman C.R. *Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash. Cement and Concrete Research.* 2015, vol. 70, April 2015, pp. 9–20.
13. Royce W.F., Ruiz E.D, Do N.H, Blake W. Staton B.W. and Hale W.M. *Development lengths of high-strength self-consolidating concrete beams. PCI journal.* 2011, vol. 56, iss. 1, pp. 36-53.

*Рецензент: д-р т. н., проф. С. А. Щербак*

Надійшла до редколегії: 7.10.2015 р. Прийнята до друку: 17.10.2015 р.