

simulation technology in the design of heating and curing concrete monolithic structures]. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 2. pp. 24-28.

9. Колохов, В. В. Анализ тепловой эффективности изготовления трёхслойных стеновых панелей. / В. В. Колохов., Л. В. Саламаха, А. В. Адегов, В. Н. Волошко, А. П. Кудрявцев // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 76. – Дн-вск, ПГАСА, 2014. – С.148-152

Kolokhov, V. V. Analysis of thermal efficiency of making of the three-layered wall panels / Kolokhov V. V., Salamakha L.V., Adegov A. V., Voloshko V. N., Kudryavtsev A. P. //Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers Issue №76. – Dnipropetrovs'k, PSAES, 2014. – pp. 148-152.

10. ТСН 12-336-2007 Производство бетонных работ при отрицательных температурах среды на территории республики Саха (Якутия). Министерство строительства

и промышленности строительных материалов республики Саха (Якутия). Якутск 2007 –110с.

TSN 12-336-2007 Proizvodstvo betonnykh rabot pri otritsatelnykh temperaturakh sredy na territorii Respubliki Sakha (Yakutiya) [Local building codes 12-336-2007. Production of concrete work at subzero temperatures environment in the Republic of Sakha (Yakutia) (rus)

11. Bofang Z. Temperature Control of Concrete Dam in Cold Region. In: Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. Butterworth-Heinemann: Tshingua University Press, 2014. Pp. 431-438

12. Bofang Z. Construction of Mass Concrete in Winter. Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. Pp. 425-430

Nassif A.Y., Petrou M.F. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. No. 44. Pp. 161-167.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. А. С. Беліковим (Україна); д-ром. техн. наук, проф. С. З. Поліщуком (Україна)

Статья поступила в редколлегия 25.09.2015

УДК 666:699.86

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

КУШНЕРОВА Л.А.^{1*}, к.т.н., асс.

^{1*} Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: Lilu300184@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-0759-4553

Аннотация. *Цель.* Определение закономерностей влияния компонентов теплоизоляционных материалов, на основе вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии максимальной замены ими более дорогостоящих материалов. В качестве промышленных отходов использовался граншлак завода имени Петровского и зола уноса Приднепровской ТЭС. *Методика.* Для определения оптимального соотношения компонентов и с целью сокращения экспериментов в процессе определения применялось математическое моделирование. Симплекс - решетчатый план эксперимента предназначен для определения экстремума в многокомпонентных системах по диаграмме «состав – свойство». В данной работе использовался 3-х мерный симплекс. В качестве переменных принимали расход глины и шлака (X_1), глиноземистый цемент (X_2), жидкое стекло (X_3). Моделирование проводилось с использованием программы «Sibase», разработанной в Украинском государственном химико-технологическом университете. *Результаты.* В связи с тем, что в состав разработанного теплоизоляционного материала входит такой дорогостоящий компонент как глиноземистый цемент, были проведены исследования с целью снижения содержания данного компонента за счёт замены его на золу-унос. В связи с тем, что максимальный показатель прочности наблюдается при содержании золы 20 и 80 % плотность материала с данными содержанием компонента соответственно равна 400 и 450 кг/м³, т.е. изменяется не значительно, поэтому с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-унос 80 % от массы глиноземистого цемента. *Научная новизна.* Результаты подтверждают целесообразность утилизации вторичных продуктов промышленности при производстве композиционных теплоизоляционных материалов. Это не только позволит повысить эффективность переработки промышленных отходов и улучшить физико-механические и технологические свойства получаемых материалов, но и как следствие снизит их себестоимости, за счет замены ими более дорогих сырьевых материалов. *Практическая значимость.* В результате исследований с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-унос 80% от массы глиноземистого цемента. Разработанный материал будет иметь следующие свойства: прочность при сжатии около 0,1 МПа; плотность до 400 кг/м³.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплоизоляция, пористый, отходы промышленности

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

КУШНЄРОВА Л.О.^{1*}, *к.т.н., ас.*

^{1*} Кафедра технології будівельних матеріалів виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: Lilu300184@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-0759-4553

Анотація. Мета. Визначення закономірностей впливу компонентів теплоізоляційних матеріалів, на основі вторинних продуктів промисловості, на їх основні властивості за умови максимальної заміни ними більш дорогих матеріалів. В якості промислових відходів використовувався граншлак заводу імені Петровського та зола віднесення Придніпровської ТЕС. **Методика.** Для визначення оптимального співвідношення компонентів та з метою скорочення експериментів у процесі визначення застосовувалося математичне моделювання. Симплекс - решітчатий план експерименту призначений для визначення екстремуму в багатокомпонентних системах по діаграмі «склад - властивість». У даній роботі використовувався 3-х мірний симплекс. В якості змінних брали витрата глини і шлаку (X_1), глиноземистий цемент (X_2), рідке скло (X_3). Моделювання проводилося з використанням програми «Sibase», що розроблена в Українському державному хіміко-технологічному університеті. **Результати.** У зв'язку з тим, що до складу розробленого теплоізоляційного матеріалу входить такий дорогий компонент як глиноземистий цемент, були проведені дослідження з метою зниження вмісту даного компонента за рахунок заміни його на золу-винесення. У зв'язку з тим, що максимальний показник міцності спостерігається при вмісті золи 20 і 80% щільність матеріалу з даними вмістом компонента відповідно дорівнює 400 і 450 кг / м³, тобто змінюється не суттєво, тому з метою отримання теплоізоляційного матеріалу з мінімальною собівартістю і оптимальними фізико-механічними властивостями слід застосовувати склад із вмістом золи-винесення 80% від маси глиноземистого цементу. **Наукова новизна.** Результати підтверджують доцільність утилізації вторинних продуктів промисловості при виробництві композиційних теплоізоляційних матеріалів. Це не тільки дозволить підвищити ефективність переробки промислових відходів та поліпшити фізико-механічні та технологічні властивості одержуваних матеріалів, але і як наслідок знизить їх собівартість, за рахунок заміни ними більш дорогих сировині. **Практична значимість.** В результаті досліджень з метою отримання теплоізоляційного матеріалу з мінімальною собівартістю та оптимальними фізико-механічними властивостями слід застосовувати склад із вмістом золи-винесення 80% від маси глиноземистого цементу. Розроблений матеріал буде мати такі властивості: міцність при стисненні близько 0,1 МПа; щільність до 400 кг/м³.

Ключові слова: математичне моделювання, теплоізоляція, пористий, відходи промисловості.

MATHEMATICAL SIMULATION IN THERMAL INSULATION MATERIALS DEVELOPMENT

KUSHNEROVA L.A.^{1*}, *Tech. Sc. Cand., Assistant Lecturer*

^{1*} Department of technology of building materials products and constructions, State higher educational establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernishevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. 38 (0562) 46-93-76, e-mail: Lilu300184@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-0759-4553

Abstract. Purpose. Determining the regularities of influence of the heat-insulating materials components on the secondary products industry basis on the their main properties on the condition of more expensive materials maximum substitution. The granulated slag named after Petrovskiy and fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station were taken as industrial waste. **Methodology.** To the optimum ratio of components and to the experiments reduction determination the mathematical modeling were applied. Simplex - lattice design of the experiment is intended to determine the extremum in multicomponent systems according to the diagram "structure - property". In this paper 3-dimensional simplex was used. The clay and slag (X_1), aluminous cement (x_2), water glass (x_3) were taken as varied factors. **Findings.** Due to the fact that the heat-insulating material composition includes such an expensive component like alumina cement, studies were carried out with the aim of this component reducing by replacing it on the fly ash. Due to the fact that the maximum strength is observed at 20 and 80% of ash content the material density accordingly this content is 400 and 450 kg/m³, that is it does not vary significantly, so in order to obtain the heat-insulating material with minimum cost and optimum physical and mechanical properties should be applied the composition with the fly ash content of 80% by weight aluminous cement. **Originality.** The results confirm the expediency of the secondary industry products utilization in the composite insulating materials production. This will not only increase the effectiveness of industrial waste recycling and improve the physical, mechanical and technological properties of the materials, and as a result reduce their cost, due to the replacement of more expensive raw materials. **Practical value.** As a result of research to develop a heat-insulating material with minimum cost and optimum physical and mechanical properties should be applied 80%the content of fly ash by weight of aluminous cement. The developed material will have the following properties: compressive strength about 0.1 МPa; density 400 kg/m³.

Keywords: mathematical modeling, insulation, porous, industrial wastes

Введение

Переработка промышленных отходов 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. К настоящему моменту сформировался устойчивый взгляд на решение данной проблемы путем широкомасштабного использования, утилизации в производстве строительных материалов среди отечественных ученых [1 - 7], а также зарубежных авторов [8 - 11].

Использование теплоизоляционных материалов позволяет сохранять и экономить тепловую энергию и обеспечивает защиту горячих и холодных поверхностей от потерь тепла и холода, обеспечивает экономию топлива и энергии, обуславливают устойчивый режим работы технологического оборудования, создаёт безопасные условия труда [12 - 14].

Для тепловой изоляции промышленного оборудования, тепловых агрегатов, трубопроводов используются различные теплоизоляционные материалы: известково-кремнеземистые, асбестосодержащие, перлитокерамические, легковесные огнеупоры, а также диатомитовые изделия [14].

Цель

Определение закономерностей влияния расхода компонентов теплоизоляционных материалов, получаемых пеногазовым методом на основе местных вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии максимальной замены ими более дорогостоящих материалов. В качестве промышленных отходов использовался граншлак завода имени Петровского и зола уноса Приднепровской ТЭС

Методика

Для определения оптимального соотношения компонентов и с целью сокращения экспериментов в процессе определения применялось математическое моделирование [15 - 18]. Симплекс - решетчатый план эксперимента предназначен для определения экстремума в многокомпонентных системах по диаграмме «состав – свойство». В данной работе использовался 3-х мерный симплекс. В качестве переменных принимали расход глины и шлака (X1), глиноземистый цемент (X2), жидкое стекло (X3). Моделирование проводилось с использованием программы «Sibase», разработанной в

Украинском государственном химико-технологическом университете.

Результаты

Уже долгое время целью научных исследований является разработка строительных материалов и изделий на основе отходов промышленности, а также заменой ими более дорогих сырьевых материалов.

План симплекс-решетчатого метода эксперимента представлен на рисунке 1.

В каждом углу плана имеем сумму по 98 %, так как содержание едкого натрия, газообразователя и пенообразователя является постоянным и равно 2 %.

Воду добавляем до литого состояния смеси. Пену вводим во все составы в одном количестве из расчета 100 мл пены на 100 г смеси.

Матрица планирования эксперимента и уровни варьирования компонентов представлены соответственно в таблицах 1 и 2.

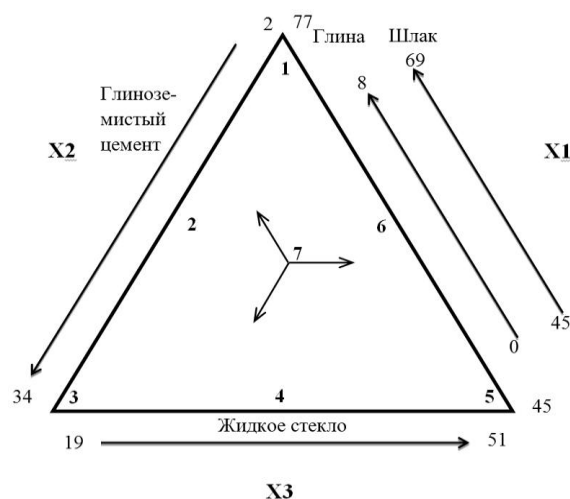


Рис. 1. План симплекс-решетчатого метода исследования / Plan of simplex lattice method investigation

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента /
Experiment planning matrix

№ опыта	План эксперимента			Содержание компонентов, %				Исследуемые свойства		
	X ₁	X ₂	X ₃	Шлак	Глина	Глиноземистый цемент	Жидкое стекло	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Прочность, МПа
1.	1	0	0	69	8	2	19	445	77,25	0,03
2.	0,5	0,5	0	57	4	18	19	420	79	0,034
3.	0	1	0	45	0	34	19	483	75,85	0,075
4.	0	0,5	0,5	45	0	18	35	361	81,95	0,184
5.	0	0	1	45	0	2	51	529	73,55	0,63
6.	0,5	0	0,5	57	4	2	35	789	60,55	0,275
7.	0,333	0,333	0,334	53	3	1	31	438	78,1	0,072

Таблица 2

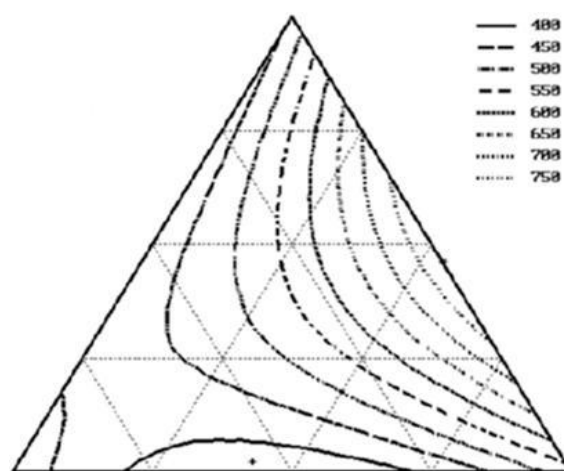
Уровни варьирования /
Variation levels

Наименование материала	Обозначение	Нижний предел	Верхний предел
Глина/Шлак	X ₁	0/45	8/69
Глиноземистый цемент	X ₂	2	34
Жидкое Стекло	X ₃	19	51

После статистической обработки результатов исследования были определены коэффициенты влияния и построены уравнения регрессии. С помощью программы "Sibase" построены диаграммы взаимного влияния исходных факторов на свойство матричного состава (рис. 2 - 4).

Из анализа данных (рис. 2) следует, что уменьшение процентного содержания глины от 3,7 до 0,15 % и шлака от 56,2 до 45,5 %, а также уменьшение содержания жидкого стекла от 36,4 до 32, 5 %, при увеличении содержания глиноземистого цемента от 2 до 19,6 % влияет на уменьшение плотности от 790 до 373 кг/м³.

Из анали за диаграммы (рис. 3) следует, что уменьшение процентного содержания глиноземистого цемента от 19,94 до 2 %, а также увеличение содержания шлака от 45,45 до 56,21 %, жидкого стекла от 29,17 до 36,35 % и глины от 0,15 до 3,74 % влияет на уменьшение пористости от 81,344 до 60,497 %.

Рис. 2. Диаграмма по свойству плотность /
Diagram of density property

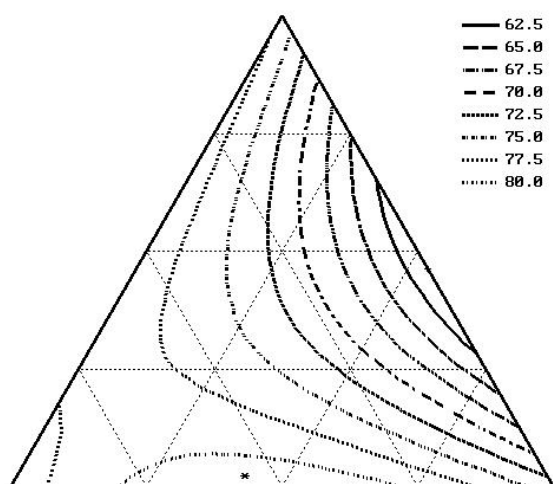


Рис. 3. Диаграмма по свойству пористость /
Diagram of porosity property

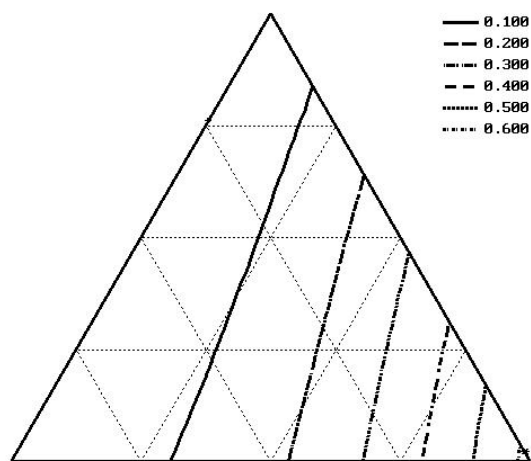


Рис. 4. Диаграмма по свойству прочность /
Diagram of resistance property

Из полученных данных (рис. 4) следует, что уменьшение процентного содержания жидкого стекла от 50,1 до 19 %, а увеличение содержания шлака от 45,5 до 63,2 %, глиноземистого цемента от 2 до 9,2 % и глины от 0,2 до 6,1 % влияет на уменьшение прочности при сжатии от 0,6 до 0,02 МПа.

В результате анализа диаграмм (рис. 2 - 4) выбран оптимальный состав, который позволяет получить теплоизоляционный материал со следующими свойствами: прочность около 0,1 МПа; плотность 400 кг/м³; а пористость составляет не менее 80 %

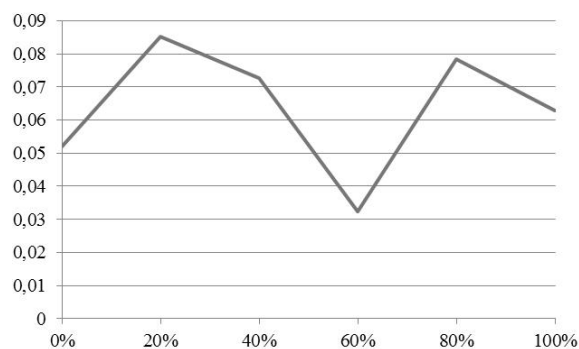


Рис. 5. Зависимость прочности от содержания золы-уноса / The strength dependence of the fly ash content

В связи с тем, что в состав разработанного теплоизоляционного материала входит такой дорогостоящий компонент как глиноземистый цемент, далее были проведены исследования с целью снижения содержания данного компонента за счёт замены его на золу-унос.

С увеличением содержания золы на 20 % наблюдаем увеличение прочности при сжатии до 0,09 МПа. Далее при увеличении золы до 60% наблюдаем резкое снижение прочности до 0,03 МПа (рис.5). При дальнейшем повышении содержания золы наблюдаем повышение прочностных показателей.

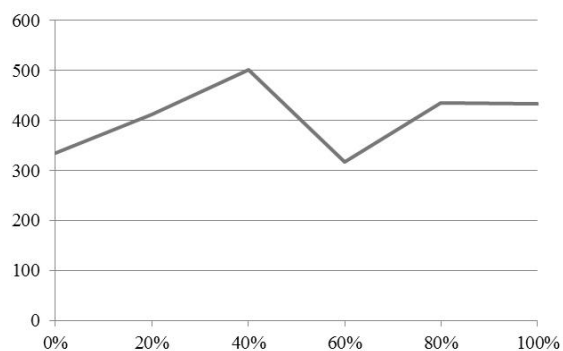


Рис. 6. Зависимость плотности от содержания золы-уноса / The density dependence of the fly ash content

Максимальная плотность состава достигается при добавлении золы-унос в количестве 40 - 45 % и достигает 500 кг/м³. Минимум наблюдается при добавлении 60 % золы и равен 320 кг/м³. При дальнейшем добавлении плотность увеличивается и остаётся стабильной на уровне 430 кг/м³ (рис. 6).

При добавлении золы в размере от 0 до 40 % пористость снижается до 73 %, при дальнейшем добавлении пористость повышается до 84 % при содержании золы 60 %, при дальнейшем добавлении пористость снижается до 78 % (рис. 7).

В связи с тем, что максимальный показатель прочности наблюдается при содержании золы 20 и 80 % плотность материала с данными содержанием компонента соответственно равна 400 и 450 кг/м³, т.е. изменяется не значительно, поэтому с целью

получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-уноса 80 % от массы глиноземистого цемента.

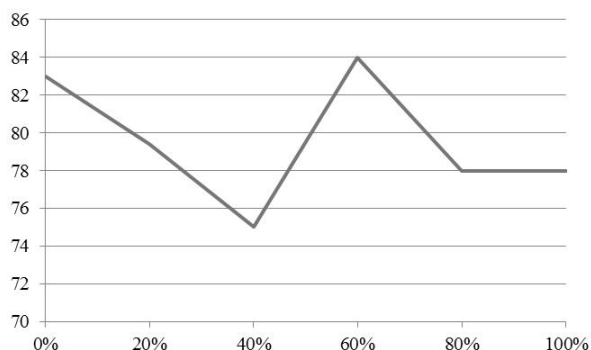


Рис. 7. Зависимость пористости от содержания золы-уноса / The porosity dependence of the fly ash content

Разработанный материал будет иметь следующие свойства: прочность около 0,1 МПа; плотность до 400 кг/м³; пористость около 80 % и теплопроводность 0,06 Вт/м⁰С.

Научная новизна и практическая значимость

Результаты подтверждают целесообразность утилизации вторичных продуктов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Большаков В.И. Повышение реакционной способности доменного гранулированного шлака / В.И. Большаков, С.А. Щербак, М.А. Елисеева // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сер.: Стародубовские чтения 2011: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 59, т. II. – С. 34-38.
Bolshakov V.I., Shcherbak S.A., Yeliseeva M.A. Povyshenie reaktivnoy sposobnosti domennogo granulirovannogo shlaka [The reactivity of granulated blast slag increasing]. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Building, materials sciences, mechanic engineering]: Collection of scientific papers Issue59, Vol. 2 – Dnipropetrovs'k, PSAES, 2011. – p. 34-38.
<http://pgasa.dp.ua/science/Starodubov/archive/>
2. Дворкин Л.И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Москва: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitelnye mineralnye vyazhushchie materialy [Mineral binding materials]. Moscow, Infra-Engineering, 2011. 544 p.
<https://books.google.com.ua/books?isbn=5457643662>
3. Нетеса, Н.И. Легкие бетоны с золой уноса Приднепровской ТЭС / Н.И. Нетеса, Д.В. Паланчук, А.Н. Нетеса // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 5. – С. 137–145.
Netesa N.I., Palanchuk D.V., Netesa A.N. Legkiyye betony s zoloy unosa Pridneprovskoy TES [Lightweight concretes with fly-ash of Prydniprovsk thermal power station]. Nauka ta prohres transportu. Visnyk

промышленности при производстве композиционных теплоизоляционных материалов. Это не только позволит повысить эффективность переработки промышленных отходов и улучшить физико-механические и технологические свойства получаемых материалов, но и как следствие снизит их себестоимости, за счет замены ими более дорогих сырьевых материалов. В результате исследований с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-уноса 80 % от массы глиноземистого цемента.

Выводы

1. Подтверждена целесообразность применения отходов промышленности в производстве строительных материалов, что позволит повысить эффективность переработки вторичных отходов и снизить себестоимость конечного продукта.
2. В результате исследований с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-уноса 80% от массы глиноземистого цемента

Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and Transport Progress. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013. no. 5. pp. 137-145.
<http://stp.diit.edu.ua/article/view/17978/16906>

4. Мирюк О.А. Мелкозернистые бетоны на основе техногенного заполнителя / О.А. Мирюк // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 2. – С. 5-8.

Miryuk O.A. Melkozernistye betony na osnove tekhnogennoho zapolnitelya [Based fine aggregate concrete anthropogenic] / Beton i zhelezobeton v Ukraine [Concrete and reinforced concrete in Ukraine]. – 2010. – no. 2. – pp. 5-8.

5. Большаков В.И. Повышение качества строительных материалов за счет применения техногенных отходов и механоактивации смеси / В.И. Большаков, С.А. Щербак, М.А. Елисеева, Н.В. Калиниченко // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. – Харків, 2010. – Вип. 59. – С. 223-226.

Bolshakov V.I., Shcherbak S.A., Yeliseyeva M.A., Kalinichenko N.V. Povyshenie kachestva stroitelnykh materialov za schet primeneniya tekhnogennykh otkhodov i mekhanoaktivatsii smesi [Improving of the building materials quality due to using of man-made waste and mechanical activation of the mixture]. Naukoviy visnik budivnitstva [Science bulletin of Building]. Collection of scientific papers. – Kharkiv, 2010. - Issue59, - pp. 223-226.

6. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности / А.М. Сергеев. – Київ: Будівельник, 1984. – 120 с.

Sergeev A.M. Ispolzovanie v stroitelstve otkhodov energeticheskoy promyshlennosti [The energy industry waste using in the building]. - Kiev: Builder, 1984. - 120 p.

7. Щербак С.А. Загальна характеристика металургійних шлаків / С.А. Щербак, Н.В. Калиниченко, М.О. Єлісеєва // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт.— Днепропетровск, 2010. — № 2–3. — С. 23–28.

Shcherbak S.A., Kalinichenko N.V., Yeliseyeva M.A. Zagalna charakteristica metalurgiyinih shlakiv [General characteristics of metallurgical slags]. Vestnik Pridneprovskoy gosudarstvennoy akademii stroitelstva i arkhitektury [Bulletin Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2010. — no. 2-3. - pp. 23-28.

8. T. Ch. Madhavi, L. Swamy Raju, Deepak Mathur, Durability and Strength Properties of High Volume Fly Ash Concrete, Journal of Civil Engineering Research, Vol. 4 No. 2A, 2014, pp. 7-11.

<http://article.sapub.org/10.5923.c.jce.201401.02.html>

9. Marthong C., Agrawal T.P. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties. Intern. J. of Engineering Research and Applications, 2012. no. 2. pp. 1986-1991.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.416.3759&rep=rep1&type=pdf>

10. O. Gencel, F. Koksai, C. Ozel, and W. Brostow, "Combined effects of fly ash and waste ferrochromium on properties of concrete," Journal of Construction and Building Materials, 2012, vol. 29, pp. 633–640.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006568>

11. Vaibhav A. Kalmegh, Dr. P.P.Saklecha, Prof. R.S.Kedar Experimental study on geopolymers concrete with fly ash. J. of Engineering and Technology Research, 2015. no. 2. pp. 239-243.

<http://ijer.in/ICQUEST%202015/239-243%20CV016.pdf>

12. Ольховский Г. Г. Перспективы развития теплоэнергетики / Г. Г. Ольховский, А. Г. Тумаковский // Энергия – 2003. — № 4. — С. 9-16.

Olkhovskiy G.G., Tumakovskiy A.G. Perspektivy razvitiya teploenergetiki [Development prospects of power system]. Energiya [Energy], 2003. no. 4. pp. 9-16.

13. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / за ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка. — Київ : УЭЗ. — 2001. — 400 с.

Shidlovskiy A.K., Kovalka M.P. Palivno-energetichniy kompleks Ukraїni na porozі tretogo tisyacholittya [Fuel and energy complex of Ukraine on the threshold of the third millennium]. Kiev, 2001. 400 p.

14. Ахтямов Р.Я. Применение эффективных теплоизоляционных материалов и жаростойких бетонов в футеровках печей обжига керамического кирпича / Р.Я. Ахтямов // Строительные материалы. — 2004. — № 2. — С. 26-28.

Akhtyamov R.Y. Primenenie effektivnykh teploizolyatsionnykh materialov i zharostoykikh betonov v futerovkakh pechey obzhiga keramicheskogo kirpicha [The application of effective thermal insulation materials and heat resisting concrete in furnace linings firing ceramic bricks]. Stroitelnye materialy [Building materials], 2004. no. 2. pp. 26-28.

15. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. — Москва : Машиностроение, 1981г. — 184с.

Spiridonov A.A. Planirovanie eksperimenta pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov [The experiment planning in technological processes]. Moscow: Mechanical Engineering, 1981. 184p.

<http://www.twirpx.com/file/873281/>

16. Грушко И.М. Основы научных исследований / И.М. Грушко, В.М. Сиденко. — Харьков : Вища школа, 1983. — 223 с.

Grushko I.M., Sidenko V.M. Osnovy nauchnykh issledovaniy [Basic research]. Kharkov: High School, 1983. 223 p.

<http://www.twirpx.com/file/1009598/>

17. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / Зедгенидзе И.Г. — Москва : Наука, — 1976. — 379 с.

Zedgenidze I.G. Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnykh sistem [Design of Experiments for the multicomponent systems study]. Moscow, Science, 1976. 379 p.

18. Длин А.М. Математическая статистика в технике / А.М. Длин. — Москва : Советская наука, 1962. — 186 с.

Dlin A.M. Matematicheskaya statistika v tekhnike [Mathematical Statistics in the technique]. Moscow, Soviet science, 1962. 186 p.

Статья рекомендована к публикации в журнале «Технічна наука», проф. В. Н. Деревянко (Україна); в журналі «Технічна наука», проф. Н. В. Шпирько (Україна)

Статья поступила в редколлегию 21.09.2015