

5. Koval, P.M., Fal, A.E. and Stoyanovich, S.V (2010) “Effective design of reinforced concrete prefabricated monolithic superstructures of highway bridges with prestressed beams”, Transactions of National University Lviv Polytechnic, Iss.664, pp. 44–52.

6. Koval, P.M., Babyak, V.P., Kovalchik, Ya.I. and Gorba, M.B (2013) “Precast concrete prestressed beams highway bridges”, Transactions of National University Lviv Polytechnic, Iss.755, pp. 184–188.

7. State building codes Ukraine. Bridges and pipes. design rules. (GSN V.2.3-14: 2006) - Gosstroy Ukrainyi, 2006.

Стаття надійшла 17.12.2014.

УДК 622.257.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОРОДОБЕТОНА

В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша, П. А. Бакум

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: kovalenko_vlad@mail.ru, vitaliagarkusha@yandex.ua, zkk-site@yandex.ua

Исследована возможность применения пустой породы в качестве крупного заполнителя для торкрет-бетонных смесей, используемых при креплении горизонтальных выработок угольных шахт. Подобраны оптимальные, с позиций прочности бетона, гранулометрический состав породного заполнителя и соотношение компонентов для приготовления торкрет-бетонных смесей на основе пустой породы. Исследовано влияние золы-уноса на прочностные показатели торкрет-бетонных смесей на основе пустой породы. Приведены рекомендации относительно оптимального количества золы-уноса в составе торкрет-бетонной смеси. Сделаны выводы о возможности использования полученного материала.

Ключевые слова: торкрет-бетон, пустая порода, зола-унос, прочность при сжатии, прочность на изгиб.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОЛИ-ВИНОСУ НА ПОКАЗНИКИ МІЦНОСТІ ПОРОДОБЕТОНУ

В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша, П. А. Бакум

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: kovalenko_vlad@mail.ru, vitaliagarkusha@yandex.ua, zkk-site@yandex.ua

Досліджено можливість використання пустої породи як крупного заповнювача для торкрет-бетонних сумішей, що використовуються при кріпленні горизонтальних виробок вугільних шахт. Підбрано оптимальний з позицій міцності бетону гранулометричний склад породного заповнювача і співвідношення компонентів для приготування торкрет-бетонних сумішей на основі пустої породи. Досліджено вплив золи-виносу на показники міцності торкрет-бетонних сумі-

шей на основі пустої породи. Наведені рекомендації відносно оптимальної кількості золи-виносу у складі торкрет-бетонної суміші. Зроблені висновки щодо можливості використання отриманого матеріалу.

Ключові слова: торкрет-бетон, пуста порода, зола-виносу, міцність на стиск, міцність на вигин.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. На сегодняшний день энергетические ресурсы являются залогом успешного развития всех отраслей промышленности Украины. Среди всех ресурсов Украины особое место занимает каменный уголь. Его запасов достаточно для стабильной работы энергетических, металлургических, химических предприятий. Однако за более чем 100 лет разработки его запасы значительно уменьшились, поэтому горнодобывающие предприятия вынуждены разрабатывать более глубокие горизонты. На многих шахтах Украины добыча угля ведется на глубинах, достигающих 1200 м.

С увеличением глубины разработки увеличиваются капитальные расходы, связанные с использованием большего количества дорогих строительных материалов, необходимостью их доставлять на все более возрастающую глубину, в связи с этим увеличивается количество задействованного транспорта и в целом затрудняется работа шахтного подъема. Исходя из этого, возникает необходимость в поиске новых более дешевых и доступных материалов для использования при возведении крепей, а также разработке мероприятий, которые позволили бы значительно сократить транспортную цепочку поступления материалов в шахту, высвободив шахтный ствол для подъема угля.

Одним из таких мероприятий является замена традиционных заполнителей (кварцевый песок, гранитный щебень) для тампонажных и торкрет-бетонных смесей, которые применяются при возведении горных крепей, на пустую породу угольных шахт. Измельчение и сортировка на фракции пустой породы в подземных условиях позволит существенно сократить выдачу пустой породы на поверхность и, как следствие, уменьшит затраты на возведение и ремонт горных крепей, а также позволит значительно снизить нагрузку на транспортную систему шахты – подъем ствола, транспортную сеть горизонтальных и наклонных выработок.

Целью работы является определение физико-механических свойств породобетонных материалов на основе пустых пород угольных шахт с добавкой золы-уноса.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Задачи исследования:

1. Определить рациональные составы торкрет-бетона на основе пустой породы с использованием золы-уноса в качестве добавки, которая позволит улучшить их прочностные и технологические характеристики.
2. Экспериментально определить прочностные характеристики торкрет-бетонных материалов на основе пустой породы.

При выполнении работы применялись следующие сырьевые компоненты – цемент марки ПЦ I 500 Н, природный кварцевый песок (модуль крупности $M_k=1,26$), измельченная порода шахты им. Героев Космоса ПАО ДТЭК «Павлоградуголь», зола-уноса Приднепровской ТЭС.

Порода представлена алевролитами темно-серого цвета и аргиллитами горизонтально-слоистой структуры. Данные породы являются глинистыми, поэтому для них характерна высокая чувствительность к воздействию воды. При контакте с водой они склонны к размоканию и расслаиванию. За один час нахождения образцов аргиллита в воде наблюдается прирост в массе образцов за счет водонасыщения породы на 46,7...64,3 %, за пять суток и более – на 83,2...98,9 %. Алевролиты имеют большую стойкость к воздействию воды [1].

Большое значение для приготовления торкрет-бетонной смеси имеет гранулометрический состав заполнителя. Измельчение пустой породы происходило в щековой дробилке. Процесс измельчения выполнялся в 3–4 подхода, после чего измельченный материал разделялся на фракции (0–1,6 мм, 1,6–5 мм, 5–10 мм), и каждая из фракций была взвешена. В результате этого был определен выход разных фракций для каждого из этих типов пород (табл. 1).

Таблица 1 – Выход продуктов измельчения по фракциям

Аргиллит, %			Алевролит, %			Ординарная смесь пород, %		
0–1,6 мм	1,6–5 мм	5–10 мм	0–1,6 мм	1,6–5 мм	5–10 мм	0–1,6 мм	1,6–5 мм	5–10 мм
29,97	32,81	37,22	22,75	34,29	42,96	38,42	28,33	33,25

Из представленной таблицы следует, что более прочный алевролит в меньшей степени подвержен измельчению в процессе дробления, в результате чего количество измельченного материала возрастает с увеличением размера фракций. В отличие от алевролита в аргиллите наблюдается тенденция получения в результате дробления большего количества самой мелкой (0–1,6 мм) и самой крупной (5–10 мм) фракций. Данная таблица показывает степень дробимости пород обоих типов. Полученные данные могут быть полезны для определения выхода отдельных фракций в результате измельчения, когда в исходном сырье будет превалировать тот или иной тип пород. В реальных условиях зачастую встречается случай, когда в исходном сырье присутствуют оба типа пород, либо породы представлены переслаивающимися пропластками аргиллита и алевролита. Для этого случая также были проведены исследования и получены результаты для ординарной смеси пород (аргиллита и алевролита), также представленные в табл. 1.

В результате измельчения неотсортированных пород и последующего разделения полученного материала на фракции был отмечен значительный выход мелкой фракции (1,6–5 мм). Для проведения лабораторных испытаний были рассмотрены варианты, в которых использовались все фракции измельченных пород, а также варианты, когда самая мелкая фракция (0–1,6 мм) была заменена кварцевым песком. Проведенные авторами данной статьи исследования [2] показали, что самая мелкая фракция измельченной породы негативно сказывается на процессе приготовления и на прочности образцов из этой смеси. В связи с этим было принято в качестве заполнителя использовать: для мелкой фракции – кварцевый песок, для более крупных фракций – измельченные породы с шахты им. Героев Космоса ПАО ДТЭК «Павлоградуголь».

При подборе гранулометрического состава торкрет-бетона учитывались рекомендации профессора И.П. Александрина относительно оптимального количества и размера частиц применяемого заполнителя (кварцевого песка, щебня, гравия). В соответствии с представленными кривыми были рассчитаны рекомендуемые составы заполнителя для торкрет-бетона. Полученные составы заполнителя для торкрет-бетона должны обеспечивать наименьшую пустотность мелкого и крупного заполнителя и гарантировать минимальный расход цемента, что оказывает значительное влияние на свойства готового материала. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Рекомендуемый состав заполнителя для торкретбетона

Тип заполнителя	Содержание фракций в крупности заполнителя, %		
	менее 1,6 мм	1,6–5 мм	5–10 мм
мелкий	43	32	25
оптимальный	37	33	30
крупный	30	36	34

В ходе выполнения эксперимента были изготовлены образцы-кубы размером 10×10×10 см и образцы-призмы размером 4×4×16 см. При приготовлении всех исследуемых смесей в воду затворения вводили суперпластификатор «Виматол» в количестве 0,6 % от массы цемента с целью уменьшения водопотребности. В процессе приготовления торкрет-бетонной смеси, имеющей в качестве заполнителя все фракции измельченных пород, стало очевидно, что суперпластификатор не работает с данным заполнителем. Это объясняется тем, что используемая порода является глинистым материалом и имеет свойство поглощать и удерживать воду.

Эта особенность однокомпонентного породного заполнителя является его недостатком, т.к. как торкрет-бетонные смеси на породном заполнителе имеют значительно большую водопотребность по сравнению с торкрет-смесями на традиционных заполнителях (кварцевый песок, гранитный щебень), водопотребность которых можно регулировать с помощью различных пластификаторов и суперпластификаторов. В случае же с породным заполнителем недостаток воды затворения приведет только к ухудшению технологических свойств смеси и, как следствие, к снижению прочностных показателей готового материала. Наиболее отрицательное воздействие на технологические свойства смеси оказывает фракция породы менее 1,6 мм, поскольку она лучше всех остальных фракций поглощает и удерживает воду.

В однокомпонентном заполнителе при использовании фракции породы менее 1,6 мм в качестве мелкого заполнителя для торкрет-бетонных материалов и использовании фракций 1,6–5 мм и 5–10 мм в качестве крупного заполнителя получают образцы с недостатком цементного теста. Однако если для тех же составов использовать двухкомпонентный заполнитель (песок и порода), где природный кварцевый песок используется в качестве мелкой фракции, то технологические свойства смеси значительно улучшаются, что видно из изображений, представленных на рис. 1.

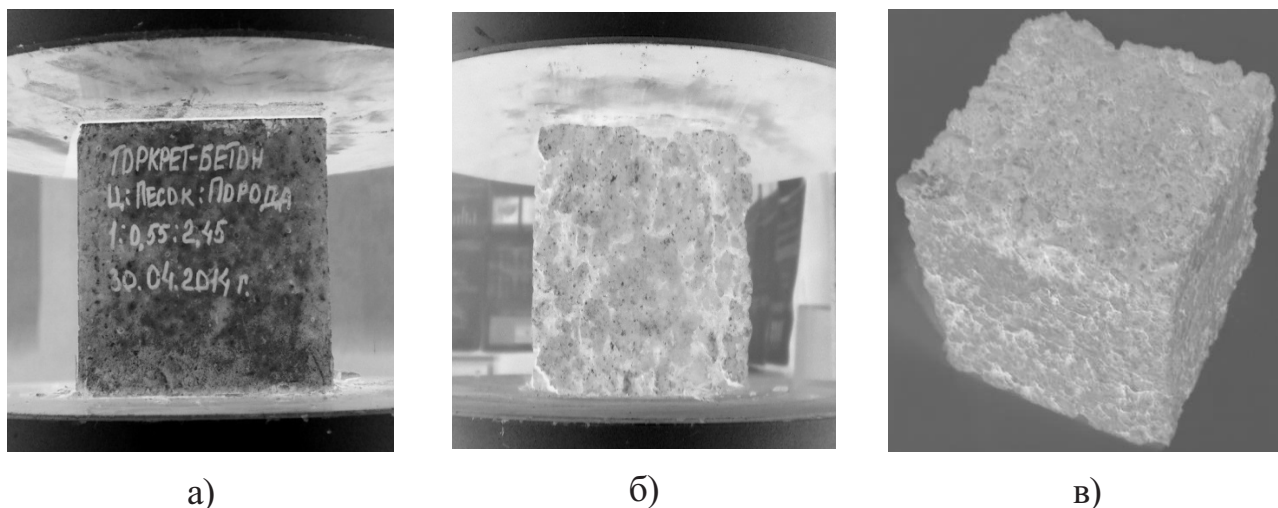


Рисунок 1 – Образцы-кубы породобетонных материалов в неразрушенном состоянии: а) с нормальным количеством цементного теста; б), в) с недостатком цементного теста

При проведении эксперимента с торкрет-бетонными образцами на двухкомпонентном заполнителе была исследована возможность максимального использования измельченной породы и минимального использования природного кварцевого песка. Из исследованных составов наиболее оптимальными параметрами обладал состав цемент:песок:порода = 1:1:2. Этот состав обеспечивает хорошие технологические свойства смеси и наиболее высокие показатели прочности при сжатии (19,87 МПа) и изгибе (5,44 МПа) готового торкрет-бетона. Составы с меньшим количеством песка не обеспечивают необходимых технологических и прочностных показателей [2]. При использовании смеси аргиллитов и алевролитов в качестве заполнителя невозможно получить материал с большей прочностью при сжатии, т.к. средняя прочность при сжатии самих использованных пород для условий Павлограда составляет 20 МПа [4].

Поскольку используемая порода является низкокачественным сырьевым материалом, целесообразным являлось подобрать добавки, улучшающие как технологические свойства торкрет-бетонной смеси, так и его прочностные показатели. Более того, при подборе добавок необходимо учитывать чувствительность породы к воздействию воды. Это проявляется в размокании как самой измельченной породы, так и в снижении прочности готового торкрет-бетона на основе породы. Увлажненные образцы показывают прочность при сжатии в среднем на 2...4 МПа меньше прочности сухих образцов, а при изгибе – приблизительно в 1,5 раза меньше прочности сухих образцов.

В ходе проведения эксперимента была исследована возможность использования местных отходов промышленности в качестве добавки к торкрет-бетонным смесям. Таким сырьевым материалом была выбрана зола-унос Приднепровской ТЭС. Для зол электростанций характерно наличие свойств

СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН

вяжущих веществ и большая дисперсность. Однако зола-уноса Приднепровской ТЭС относится к инертным золам, т.е. неактивным. Для использованной золы характерно высокое содержание оксидов кремния и алюминия и низкое содержание оксидов кальция и магния. Данная зола чаще всего применяется в качестве мелкого заполнителя для бетонов и растворов. Химический состав золы-уноса Приднепровской ТЭС представлен в табл. 3.

Таблица 3 – Химический состав золы-уноса Приднепровской ТЭС

Диапазон	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
	50,0–54,0	23,0–28,0	8,0–15,0	0,5–2,0	2,0–5,0	1,0–3,0	0,7–1,5	2,0–4,5
Среднее	52,0	25,5	11,5	1,0	3,5	2,0	1,0	3,4

Удельная поверхность использованной золы определялась методом воздушно-непроницаемости на приборе Товарова. Таким образом, истинная плотность использованной золы составляет 2,23 г/см³; удельная поверхность – 1680,35 см²/г.

К выбранному в качестве базового составу – цемент:песок:порода = 1:1:2 – добавляли золу-унос в количестве 10, 20, 30, 40 % от количества цемента. С увеличением количества золы-уноса наблюдается увеличение водопотребности торкрет-бетонной смеси. Подобный эффект наблюдается из-за высокой удельной поверхности золы-уноса, которая требует большого количества воды из-за высокого содержания в ней SiO₂ и Al₂O₃. Физико-механические показатели исследованных составов представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Физико-механические характеристики торкрет-бетона (цемент:песок:порода = 1:1:2) с добавкой 10, 20, 30, 40% золы-уноса

Состав	В/Ц	Прочность при сжатии, МПа				Прочность на изгиб, МПа
		7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.	28 сут.
без добавок (контрольные образцы)	0,45	16,8	17,38	18,8	19,87	5,44
10 % золы-уноса	0,5	14,0	14,99	15,0	16,9	4,55
20 % золы-уноса	0,5	14,6	16,61	18,41	19,39	4,2
30 % золы-уноса	0,55	14,7	15,42	16,73	19,58	4,1
40 % золы-уноса	0,6	14,0	14,8	15,33	17,83	4,0

График набора прочности торкрет-бетона с добавкой 10, 20, 30, 40 % золы-унос представлен на рис. 2.

На рис. 3 представлен график распределения прочности на сжатие и изгиб для исследованных составов.

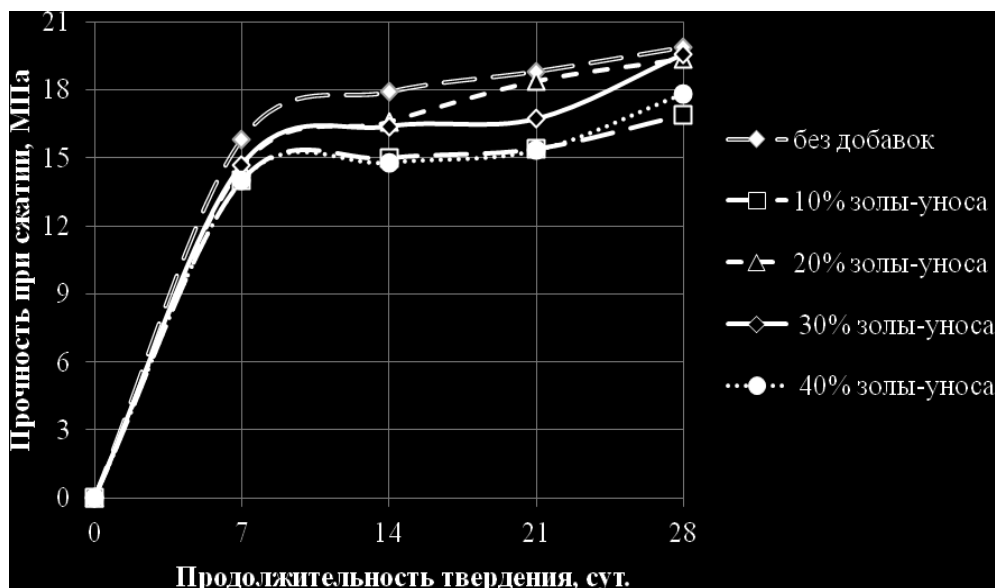


Рисунок 2 – График набора прочности торкрет-бетона (цемент:песок:порода = 1:1:2) для образцов без добавки (контрольных) и с добавкой золы-уноса в количестве 10, 20, 30 и 40 %

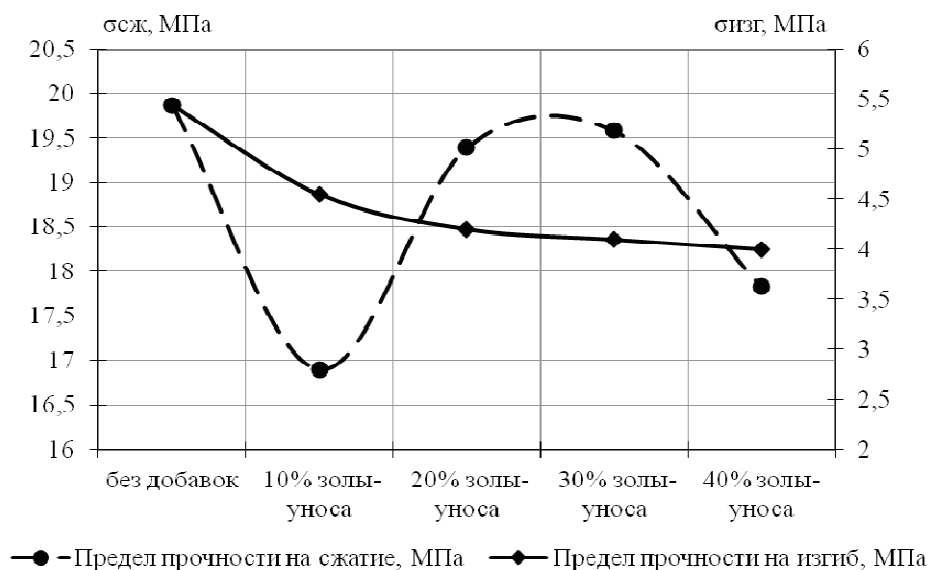


Рисунок 3 – Прочность на сжатие и изгиб в возрасте 28 суток образцов торкрет-бетона (цемент:Песок:Порода = 1:1:2) без добавки (контрольных) и с добавкой золы-уноса в количестве 10, 20, 30 и 40 %

Из полученных результатов следует, что введение в состав торкрет-бетонной смеси золы-уноса является достаточно эффективным. Наиболее оптимальными являются составы 3 и 4 (табл. 4), т.к. они имеют наиболее высокие прочностные показатели. Снижение прочности торкрет-бетона при введении 10 % золы-уноса объясняется недостаточным ее количеством. Как видно из рисунка 3, оптимум наблюдается при введении 20–30 % золы-уноса. При введении 40 % золы наблюдается значительное снижение прочностных характеристик торкрет-бетона.

Так как использованная зола-уноса является неактивной, она не может участвовать в процессе образования клинкерных минералов цемента, поэтому её целесообразно использовать в качестве мелкого заполнителя для торкрет-бетона на основе пустой породы. В данном случае введение золы-уноса в состав торкрет-бетонных смесей не повышает прочность готового материала, но за счет высокой удельной поверхности повышает плотность готового материала. Использование золы-уноса в составе торкрет-бетонных смесей на основе породы является возможным, но только в качестве мелкого заполнителя.

ВЫВОДЫ. Внедрение технологии измельчения пустой породы угольной шахты непосредственно в подземных условиях и последующее ее использование в качестве заполнителя для тампонажных и торкрет-бетонных смесей является перспективным направлением. Это позволит значительно сократить количество пустой породы, выдаваемой на поверхность, уменьшит количество таких сырьевых компонентов, как кварцевый песок, который транспортируется на большие глубины угольных шахт и требует дополнительной подготовки в виде сушки. Данный комплекс мероприятий позволит уменьшить нагрузку на транспортную систему шахты, снизит затраты на ремонт и возведение шахтных крепей, а так же значительно улучшит экологическую обстановку в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мочков В.С., Бронштейн Б.Е., Гречин А.Я. Утилизация шахтных пород Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1985. – № 10. – С. 21–22.
2. Коваленко В.В., Гаркуша В.С. Исследование физико-механических характеристик торкрет-бетонных составов на основе пустой породы // Материалы международной конференции “Форум горняков–2014”. Т. 2. – Днепропетровск: ООО «ЛИЗУНОВ ПРЕСС». – 2014. – С. 130–138.
3. Штумпф Г.Г. Характер разрушения образцов пород и совершенствование методов определения их прочности // Уголь Украины. – 1988. – № 6. – С. 10 – 12.
4. Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В., Панченко В.В. Оценка геомеханических условий поддержания протяженных выработок шахт ОАО «Павлоградуголь» // Разработка рудных месторождений. – 2011. – Вып. 94. – С. 3–6.

THE STUDY OF FLY ASH INFLUENCE ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE CONCRETE BASED ON THE WASTE ROCK

V. Kovalenko, V. Garkusha, P. Bakum

SHEI “National Mining University”

prosp. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: kovalenko_vlad@mail.ru, vitaliagarkusha@yandex.ua, zkk-site@yandex.ua

The possibility of waste rock using as coarse aggregate for shotcrete mixtures that used to support horizontal workings of coal mines is studied. The optimal, from the standpoint of concrete durability, size distribution of rock aggregate and components’ ratio for the preparation of sprayed concrete mixes based on waste rock are determined. The fly ash influence on the strength properties of shotcrete mixtures with waste rock is studied. The recommendations about optimal amount of fly ash in the composition of shotcrete are made. Conclusions about the possibility of obtained material using are made.

Key words: shotcrete, waste rock, fly ash, compressive strength, flexural strength

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2014(14).

REFERENCES

1. Mochkov, V.S., Bronshteyn B.Ye., Grechin, A.Ja. (1985) "Utilization of coal mine's rocks of Western Donbass", *Ugol' Ukrainy*, no. 10. – pp. 21–22.
2. Kovalenko, V.V., Garkusha, V.S. (2014) "The study of physical and mechanical characteristics of shotcrete compositions based on waste rock", *Materials of international conference "Forum of miners 2014"*, vol. 2 – pp. 130–138.
3. Shtumpf, G.G. (1988) "The nature of the fracture of rock samples and improvement of methods to determine their strength", *Ugol' Ukrainy*, no. 6. – pp. 10 – 12.
4. Solodyankin, A.V., Martovitskiy, A.V., Panchenko, V.V. (2011) "Evaluation of the geomechanical conditions for maintaining the extended mine workings of OJSC "Pavlogradugol", *Razrabotka rudnyh mestorozhdenii*, vol. 94. – pp. 3–6.

Стаття надійшла 19.12.2014.

УДК 624.071.322:667.63

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С. Н. Гапеев, Л. В. Феськова

ГБУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mails: sergey.gapeev@hotmail.com, persifona11@yandex.ru

Фактические нагрузки, действующие на деталь, и свойства материалов, из которых она изготовлена, могут значительно отличаться от тех, которые принимаются для расчета. При этом факторы, снижающие прочность детали (перегрузки, неоднородность материалов и т.д.), носят, чаще всего, случайный характер и предварительно не могут быть учтены. Проведено исследование рационального снижения коэффициента запаса прочности при проектировании металлических стержневых конструкций с использованием программной надстройки Microsoft Excel Solver («Поиск решений») с заданным сроком эксплуатации в неблагоприятных условиях

Ключевые слова: коэффициент запаса прочности, стержневые конструкции, коррозионный износ.

ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТУ ЗАПАСУ МІЦНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ СТЕРЖНЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

С. М. Гапєєв, Л.В. Фєськова

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mails: sergey.gapeev@hotmail.com, persifona11@yandex.ru

Фактичні навантаження, що діють на деталь, і властивості матеріалів, з яких вона виготовлена, можуть значно відрізнятися від тих, які приймаються для розрахунку. При цьому чинники, що знижують міцність деталі (перевантаження, неоднорідність матеріалів тощо), носять, найчастіше, випадковий характер та