

УДК 622.257.1

V.S. Harkusha

State Higher Educational Institution "National Mining University",
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: vitaliagarkusha@yandex.ua

WASTE ROCK SPRAYED CONCRETE MIXTURES FOR COAL MINES WORKINGS SUPPORT

В.С. Гаркуша

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, email: vitaliagarkusha@yandex.ua

ТОРКРЕТ-БЕТОННІ СУМІШІ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ДОБУВАННЯ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

Purpose. To complete experimental determination of waste rock sprayed concrete mixtures physical and mechanical characteristics and to study microsilica influence on their physical and mechanical properties.

Methodology. The possibility of waste rock use as fine and coarse aggregate for sprayed concrete mixtures was studied. The optimal grain size for sprayed concrete mixtures was selected. The active mineral admixtures that can improve technological, physical and mechanical properties of sprayed concrete mixtures were determined. Physical and mechanical properties of sprayed concrete samples in dry and water-saturated state were experimentally determined.

Findings. The optimal components ratio – Cement: Sand: Rock, which provides the workability of sprayed concrete mixtures based on waste rock and their highest physical and mechanical properties were determined. Active mineral admixtures that can improve strength on compression and bending of sprayed concrete mixtures, as well as improve their resistance to the water effect were selected. The conclusions were drawn about the water impact on the properties of the crushed rock and sprayed concrete mixtures.

Originality. Physical and mechanical properties of different compositions of sprayed concrete mixtures were studied. The dependences of sprayed concrete mixtures hardening used as aggregate waste rock of the Western Donbass mines were obtained. The dependences of the kinetics of sprayed concrete mixtures hardening with the microsilica admixture used to increase the strength in wet conditions were obtained.

Practical value. The use of waste rock may reduce the amount of materials (silica sand, granite gravel) transported to great depths of coal mines. Waste rock sprayed concrete mixtures must significantly reduce the cost of works connected with mining supports construction and repairing as well as reduce the load on the transport system of a mine and the amount of rocks lifted to the surface.

Keywords: *sprayed concrete, backfilling, microsilica, compressive strength, water absorption*

Problem statement. On the way to energy independence of Ukraine it is very important to do everything possible to reduce the cost of coal produced, which has a tendency to increase at coal mines with the depth steady rise. For complicated mining and geological conditions of Ukrainian mines the extraction depth increasing has a negative impact on the carrying capacity of the workings support. In this connection mining companies have to spend rather much money to repair working support with the consequent costs increasing. At the same time, there is a necessity to find new effective types of working support and other activities that will allow maintaining the mine workings without additional costs on their repairing or recovering.

In particular, the backfilling of the fixing space is effective enough for the improvement of the workings sustaina-

bility. It includes sprayed concrete application on the walls and the roof, the backfilling of the fixing space and border zone. However, sprayed concrete mixtures raw materials (cement, sand, crushed stone, gravel) must be delivered into the underground workings. That increases the load on the transport line of a mine – rise trunk, the transport network of horizontal and inclined workings. On the other hand, a mine lifts a large amount of waste rocks from workings to the surface. This rock requires large space for its placement, creates unfavorable, often alarming conditions for the environment through quite high content of fine coal particles that cause waste dumps smoldering. This certainly creates intolerable conditions for living in the settlements situated near the mining companies. Therefore, it is reasonable to evaluate the possibility of waste rock usage as an aggregate for backfilling and sprayed concrete mixtures and to study their properties. Waste rocks used for the manufacturing of backfilling and sprayed concrete mixtures directly in

the underground workings will unload the transport network of a mine and reduce the negative impact on the environment.

Highlighting the problem unsolved part. There are many investigations aimed at finding the ways of waste rock recycling. In our work, the mixture of rocks (argillites and aleurolites that are weakly metamorphic sedimentary rocks) is used.

The most perspective direction of these rocks recycling is their use as raw materials for various building materials. Therefore, it is important to determine the possibility of rocks use as an aggregate for hardening mixtures and to in-

vestigate their resistance to water impact because argillites and aleurolites upon contact with water are prone to separation and slaking. Argillites are softened for 1 hour at 46.7–64.3%, for 5 days and more at 83.2–98.9%. Aleurolites are more resistant to water impact.

These rocks are characterized by good ability to absorb and retain water, because they are similar to clay materials by their chemical and mineralogical composition. This is evidenced the studies by A.V. Bezaz'yan, T.A. Pavlichenco, T.I. Cherednychenko whose data on the chemical composition of the Western Donbas mines rocks are presented in table 1.

Table 1

Western Donbas mines rocks chemical composition

Mines	Loss on ignition, %	Mixed rocks chemical composition, %									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	R ₂ O	In all
Dniprovskaya	9.42	60.20	16.2	7.06	0.96	0.78	1.75	0.63	0.55	2.40	99.95
Ternovskaya	15.88	56.56	15.1	5.83	0.84	0.74	1.62	0.68	0.53	2.23	100
Samarskaya	7.7	63.61	15.6	6.20	0.85	0.60	1.66	0.70	0.80	2.30	100
Pavlogradska	12.8	53.08	19.8	7.90	0.80	0.64	1.75	0.53	0.27	2.59	100
Zahidno-Donbaska	18.3	50.23	17.6	7.36	0.76	0.65	2.03	0.43	0.40	2.24	100
behalf of Space Hero	18.7	48.92	13.43	6.45	0.80	3.30	2.04	3.12	-	-	96.76

Using argillites and aleurolites as an aggregate for backfilling and sprayed-concrete material, we face sensibility to water as a big disadvantage. Even in contact with water of mixing, rock aggregate make loses in its integrity. In this connection, it is necessary to perform a selection of admixtures to improve the stability of these materials to water.

Analysis of the latest research. Sprayed concrete and backfilling mixtures are widely used to ensure workings stability. Backfilling mixture should be very plastic in order to be able to penetrate into cracks of rock mass in the border zone of the working. Highly dispersed components are used for their manufacturing. The backfilling mixture may not have high compressive and bending strength as they are filling materials that provide joint operation of rock mass fixing, and facilitate a load distribution on the support.

Various industrial waste such as slag from metallurgical plants, fly ash from thermal power plants are widely used to manufacture backfilling mixtures. Such scientists have made the study of backfilling mixtures properties in full: A.P. Maksimov, V.V. Yevtushenko, M.A. Salamatov, E.Ya. Kipko, P.M. Dolzhykov, V.D. Ryabichev, Yu.M. Spichak, V.A. Hyamyalyaynen, E.G. Tsaplin, P.G. Furdyey and others.

The authors of work [1] investigated the use of coal enrichment waste and highly plastic clays in backfilling mixtures manufacturing and substantiated parameters of backfilling works using studied mixtures. L.S. Belyaeva, K.M. Demenkov, V.K. Krykunenko, R.F. Snisarenko investigated the properties of backfilling mixtures based on fly ash and dolomite dust and performed the selection of accelerators for the studied mixtures. 0.5–1% water solution of natural bischofite was recognized to be the most optimal [2].

Yu.M. Halymendyk and R.A. Yuzhakova performed a series of studies like those given in this article. The authors

have considered the use of fine fractions of rocks (0–3 mm, 3–7 mm and 7 mm) for making building mixtures and their use as material for the concrete-slab lagging manufacturing.

P.G. Furdyey [3] has studied rheological, physical and mechanical properties of backfilling mixtures based on hydraulically active slag of metallurgical production. Hyamyalyaynen V.A. has defined basic regularities for rheological, physical and mechanical properties of backfilling mixtures based on coal enrichment waste and fly ash of thermal power plants [4].

V.D. Ryabichev has established a number of regularities not associated with the properties of backfilling mixtures, but close enough to the problem set in our paper. The author has defined the parameters of empty space backfilling by rocks produced in coal mines and determined regularities of empty rocks deformation for such parameters as humidity, temperature, pressure [5]. The properties of backfilling mixtures based on burned rocks from refuse dumps were also investigated.

Another type of mixture – sprayed concrete – is a material that puts requirements that are more stringent. It must have high strength. Spayed concrete applied to the roof and the walls of the working creates a shell that should have a sufficient bearing capacity to ensure the sustainability of the workings. Sprayed concrete works reasonable parameters of are substantiated in A.V. Mazurak studies. In work [6] the influence of technological factors such as cement ratio of sprayed concrete mixtures, nozzle distance to the working surface, speed out sprayed concrete mixtures, the strength of sprayed-concrete and amount of process losses due to rebound are determined. Such scientists make the important contribution to the study of the parameters of sprayed-concrete works: I.Yu. Zaslavsky, E.V. Streltsov, E.V. Kazakevich and others.

Purpose. Experimental determination of physical and mechanical properties of sprayed concrete materials based on waste rocks and study of microsilica influence on their water absorption.

To achieve the purpose we had to cope with the following tasks:

1. Selection of the optimal grain size of fine and coarse aggregate for manufacturing materials.
2. Experimental determination of physical and mechanical properties of sprayed concrete materials based on waste rocks.
3. Determination of the water influence on the physical and mechanical properties of sprayed concrete materials based on the waste rocks.

The main material. Raw materials used in our experimental studies: cement brand PC I M500, natural quartz sand with fineness modulus $M_k = 1.26$, crushed waste rock from mine behalf Space Hero PAO DTEK "Pavlogradvugillia". During the experiment samples-cubes $10 \times 10 \times 10$ cm and samples-prisms $4 \times 4 \times 16$ cm were tested by standard methods on compression and bending. The tests on compression were executed at the age of 7, 14, 21 and 28 days, bending tests were performed only on the 28th day. Before testing the equality of samples' surfaces was examined, no cracks and chips. Size faces of the samples were determined with an error of less than ± 1 mm.

Compression and bending tests were conducted using hydraulic press "Tecnotest KL200/CE", which was designed to determine the strength of concrete samples, rocks and other materials. The determination of compression strength of samples was done in the position at side, i.e., when the destroying force was directed in parallel to the stacking layers of sprayed-concrete material. In this situation, compressive strength of the sample at 10–20% less than the strength of the samples tested in the position in which the sample was shaped.

Samples were tested at a position on the side to have some reserve of strength. After setting the sample between the plates of machine the input source data about sample size was performed to the test machine control unit "Eurotronic". The samples were set between the press plates and executed to the controlled compression action until fracture. The load on the sample continuously and in regular intervals was increased at a speed 0.4–0.8 MPa per second. Testing machine during laboratory tests worked with a maximum load of 300 kN. The tests were conducted as long as the load on the sample fall to 5% compared to the maximum level. Then the machine stopped data record and displays on the screen maximum load value and strength of the sample in N/mm^2 .

The determination of water absorption was performed only for sprayed concrete mixtures. At first, the mass of samples was determined, and the samples were placed in a container with water for 24 hours. After this, the mass of sample in water-saturated state was determined. The determination of water absorption, compressive and bending strength of sprayed concrete samples in a water-saturated state was performed to determine the resistance of sprayed concrete samples to water action. In the first phase of work the selection of the particle size distribution for coarse and

fine aggregates was done. Grinding was executed in crusher, and then the resulting material was divided into the following fractions: less than 1.6 mm; 1.6–5 mm; 5–10 mm; more than 10 mm.

In the present work, fraction more than 10 mm was not used as its presence could deteriorate technological properties of the mixture and negatively affect the performance of sprayed concrete equipment, and would increase the number of process losses such as a rebound of sprayed concrete material.

During the selection of granulometric composition range of ideal curves of size distribution proposed by Alexandrin A.P. was used. These curves describe such ratio of fine and coarse fractions of filler, when the number of voids between grains is minimal. In such conditions maximum mobility of sprayed concrete mixture and minimal usage of cement are ensured. Used recommendations are classic for concrete technology. Recommended composition of aggregates for sprayed concrete mixtures is given in table 2 [7].

Table 2
Recommended composition of aggregates
for sprayed concrete mixtures

Aggregate type	Content fractions, %		
	Less than 1.6 mm	1.6–5 mm	5–10 mm
Fine	43	32	25
Optimal	37	33	30
Coarse	30	36	34

The initial amount of each fraction as a percentage by weight separately for argillites and aleurolites was determined, than for ordinary mixture of rocks [7]. The dependences of output rocks from the nature of the crushed material are shown in fig. 1.

The graph shows that the fraction of grinding argillites less than 1.6 mm has the largest output. For aleurolites output of fraction 5–10 mm is the most typical. The results are explained by the fact that aleurolites have greater compressive strength of 12–20 MPa, while the strength of argillites 4–11 MPa.

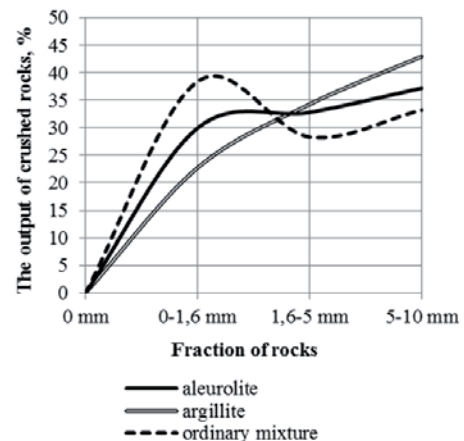


Fig. 1. Graph of amount of rocks output fractions dependence on the type of rocks

For ordinary mixture there are no clear regularities for the number of certain fractions output. For a mixture of rocks it is difficult to determine the regularity of fractions output through irregularity rock composition. However experimental data point to a large output of fraction less than 1.6 mm. Fraction less than 1.6 mm appropriate to use for the backfilling mixtures preparation. Backfilling mixtures based on waste rocks must have enough flexibility to penetrate into the cracks of the rock mass. However, they are characterized by low physical and mechanical properties and shrinkage of the finished material.

The experimental data obtained compressive strength of backfilling material Cement: Waste Rock = 1: 3 at 28 days is 5.93 MPa, that is 3.3 times lower than compressive strength of Cement: Sand = 1: 3 (16.74 MPa). By all studied mixtures to reduce water amount with mixing water superplasticizer was added in an amount of 0.6% by weight of binder. Due to the ability of rocks to absorb and retain water, it was obvious that the superplasticizer does not work with the waste aggregate.

Waste rock absorbs it with water. This is shown the fact that the optimum value for Water: Solid of backfilling mixture: Species = 1: 3 is Water : Solid = 0.4, and for a mixture of Cement: Sand = 1: 3 – Water : Solid = 0.2. In connection with this it is impossible during the manufacture of backfilling mixtures completely to replace the sand fraction on rocks fraction less than 1.6 mm. To ensure acceptable technological properties of the mixture and backfilling material and maximum use of the waste aggregate, composition mixture Cement : Sand : Rock =

= 1: 1: 2 (Water : Solid = 0.25, compressive strength – 12.49 MPa) is recommended.

To produce sprayed concrete based on waste rocks fractions 1.6–5 and 5–10 mm are used. Fraction less than 1.6 mm was not used because after the experiment with backfilling material it became obvious that fraction of rocks less than 1.6 mm has negative impact on the technological properties of the mixture and its use in sprayed concrete material is undesirable. Quartz sand using as fine fraction is more effective. The research results are given in table 3. Kinetics of sprayed concrete hardening is shown in fig. 2.

From the results obtained it follows that the optimal ratio of backfilling mixtures is Cement: Sand: Rock = 1: 1: 2. Disadvantages of used rocks are low strength and sensitivity to water action. Study results show that compressive strength of sprayed concrete samples in a water-saturated state is reduced about 2 MPa, and bend in 1.5 times compared to the same samples in the dry state. In connection with this it is reasonable to increase impermeability of sprayed concrete materials based on waste rocks. That is why to the obtained optimal composition of sprayed concrete mixture was added microsilica admixture in amount of 10 and 20%. The research results are given in table 4. Kinetics of sprayed-concrete hardening with the admixture 10 and 20% microsilica is given in fig. 3.

Microsilica is a material that has pozzolanic activity. It is able to be involved in the formation of hydration products of cement. Microsilica due to the high dispersion fills the pores of concrete that leads to density increasing and to strengthening the weakest areas of concrete (the contact zone of cement solution and aggregate).

Table 3

Physical and Mechanical Properties of Sprayed Concrete Mixtures

Composition	Water : Solid Ratio	Compressive Strength, MPa				Bending Strength, MPa 28 day
		7 days	14 days	21 days	28 days	
1. Cement : Sand : Rock = 1 : 3 : 0	0.4	11.15	14.02	15.4	16.74	-
2. Cement : Sand : Rock = 1 : 1.11 : 1.89	0.5	14.37	15.6	17.01	18.32	4.7
3. Cement : Sand : Rock = 1 : 1 : 2	0.45	16.82	17.38	18.8	19.87	5.44
4. Cement : Sand : Rock = 1 : 0.75 : 2.25	0.5	-	13.93	17.6	18.13	4.82
5. Cement : Sand : Rock = 1 : 0.55 : 2.45	0.5	13.4	13.97	14.57	16.67	4.65
6. Cement : Sand : Rock = 1 : 0 : 3	0.55	-	8.09	9.69	9.86	3.41

Table 4

Physical and Mechanical Properties of Sprayed Concrete Mixtures with the Microsilica Admixture

Composition	Water : Solid Ratio	Compression strength in dry state, MPa				Compression strength in water-saturated state, MPa	Bending strength, MPa		Water absorption, W,%
		7 days	14 days	21 days	28 days		dry	water-saturated	
1. Cement : Sand : Rock = 1 : 1 : 2	0.45	16.82	17.38	18.8	19.87	18.27	5.1	3.2	3.1
2. Cement : Sand : Rock : Microsilica = 1 : 1 : 2 : 0.1	0.45	17.35	18.68	18.86	20.02	18.43	4.7	4.42	2.1
3. Cement : Sand : Rock : Microsilica = 1 : 1 : 2 : 0.2	0.45	14.2	15.09	15.53	17.71	15.16	3.8	3.7	2.4

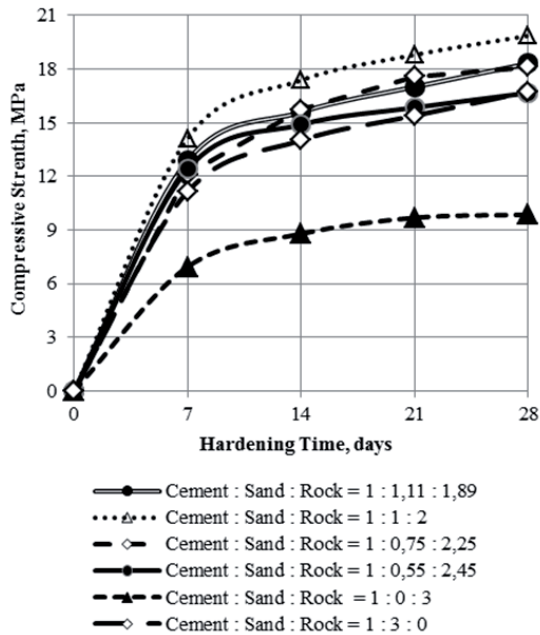


Fig. 2. Kinetics of sprayed-concrete hardening

Microsilica does not only increase the impermeability of concrete. It also improves its physical and mechanical characteristics. Compare physical and mechanical characteristics of mixtures Cement : Sand : Rock = 1 : 1 : 2 and Cement : Sand : Rock : Microsilica = 1 : 1 : 2 : 0,1, given in table 3: the most microsilica pozzolanic activity took place between 7 and 21 days of hardening that, unfortunately, has little influence on the final strength of sprayed concrete mixtures.

However, the results show that the samples containing microsilica are more resistant to water. This is evidenced by the reduction in water absorption and the increase of bending strength in water-saturated state. Microsilica introduction does not solve the problem of separation and slaking of rock aggregate but contributes to creation of more stable cement stone formations.

Conclusions and development perspectives of the direction. The results show that it is impossible to replace all fractions of sprayed concrete aggregate by waste rock completely because the smallest fraction (less than 1.6 mm) significantly worsens technological, physical and mechanical properties of sprayed concrete mixtures.

Fraction less than 1.6 mm is advisable to replace by fine silica sand. Its introduction (even in small amounts) improves the properties of sprayed-concrete mixtures. The materials obtained can only be used as filling materials because they have low rates of compressive and bending strength and good ability to penetrate into the cracks of the rock mass. The replacement of fine and coarse aggregate by crushed rock will reduce the cost of supports construction and repairing, it will reduce the load on the mine transport system. It can significantly reduce the amount of waste rock that is lifted to the surface and goes to the rock dumps of coal mines. The implementation of underground rock recycling will contribute to the cost of the coal produced, will improve the ecological situation in the mining regions and

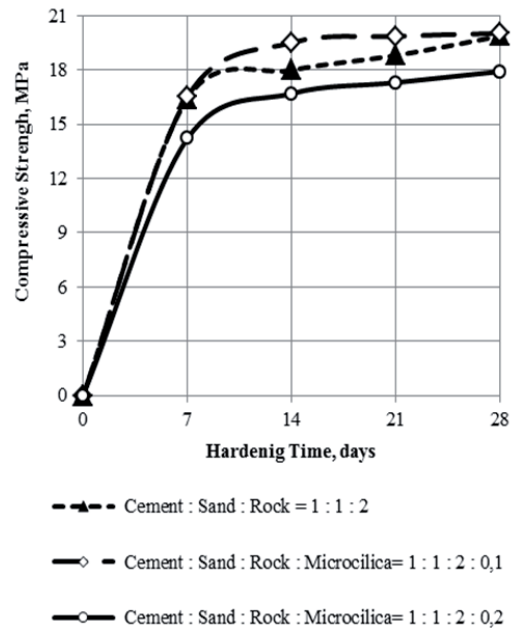


Fig. 3. Kinetics of sprayed-concrete hardening with the admixture of 10 and 20% microsilica

release large areas of agricultural land occupied by coal mines rock dumps.

References / Список літератури

- Kipko, E.Ya., Spichak, Yu.M., Dolzhikov, P.N. and Tsaplin, Ye.G. (1998), "Stable filling mixtures based on mining wastes", *Ugol Ukrainy*, no. 1, pp. 43–44.
- Стабільні закладочні смеси на базі відходів горного виробництва / Э.Я. Кипко, Ю.М. Спичак, П.М. Должиков, Е.Г. Цаплин // Уголь Украины – 1998. – № 1. – С. 43–44.
- Belyaeva, L.S., Demenkova, K.M., Krikunenko, V.K. and Snisarenko, R.F. (1995), "Backfilling compositions based on industrial waste", *Ugol Ukrainy*, no. 11, pp. 26–27.
- Тампонажные составы на основе промышленных отходов / Л.С. Беляева, К.М. Деменкова, В.К. Крикуненко, Р.Ф. Снисаренко // Уголь Украины. – 1995. – № 11 – С. 26–27.
- Furdey, P.G. (2014), "Substantiation of resource-saving recipes of backfilling suspensions on the basis of slag waste for liquidation of technogeneous emptiness", Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, specialty 05.15.04, Dnipropetrovsk, Ukraine.
- Фурдей П.Г. Обґрунтування ресурсозберігаючих рецептур тампонажно-закладних суспензій на основі шлакових відходів для ліквідації техногенних пустот: автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук : 05.15.04 / Фурдей Павло Глібович // Держ. вищ. навч. закл. „Нац. гірн. ун-т“. – Дніпропетровськ, 2014. – 18 с.
- Hamalainen, V.A. and Baev, M.A. (2013), "Experimental investigation of physical and mechanical properties of backfilling mortars based on cement and mining waste", *Vestnik KuzGTU*, Kemerovo, no. 6, pp. 12–19.
- Хямяляйнен В.А. Экспериментальные исследования физико-механических свойств тампонажных растворов

на основе цемента и отходов углеобогащения / В.А. Хямяляйнен, М.А. Баев // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2013. – №6. – С. 12–19.

5. Ryabichev, V.D. (2002), “Development of the complex liquidation technology of sloping mine workings of closing mines by highly dispersible mixtures”, Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, specialty 05.15.04, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Рябичев В.Д. Розробка комплексної технології ліквідації похилих гірничих виробок шахт, що закриваються, твердіючими високодисперсними сумішами: автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук: 05.15.04 / Рябичев Віктор Дронович // Держ. вищ. навч. закл. „Нац. гірн. ун-т“ – Дніпропетровськ, 2002. – 16 с.

6. Mazurak, A.V. and Balabukh, Ya.A. (2009), “Technological factors influence on the shotcrete strength”, *Teoriia i Praktyka Budivnytstva, Bulletin of National University “Lviv Polytechnic”*, no. 655, pp. 164–167.

Мазурак А.В. Вплив технологічних чинників на міцність торкретбетону / А.В. Мазурак, Я.А. Балабух // Теорія і практика будівництва: збірник наукових праць – Л.: Вісник (Національний університет „Львівська політехніка“), 2009. – № 655. – С. 164–167.

7. Kovalenko, V.V. and Garkusha, V.S. (2014), “The study of physical and mechanical characteristics of waste rock-based shotcrete compositions”, *Proc. of the Int. Conf. “Forum of miners 2014”*, Volume 2, LTD. “LIZUNOV PRESS”, Dnipropetrovsk, pp. 130–138.

Коваленко В.В. Исследование физико-механических характеристик торкрет-бетонных составов на основе пустой породы: материалы международной конференции “Форум горняков-2014” / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша – Днепропетровск: ООО „ЛИЗУНОВ ПРЕСС“, 2014. – Т.2. – С. 130–138.

Мета. Експериментальне визначення фізико-механічних характеристик торкрет-бетонних матеріалів на основі пустої породи вугільної шахти та дослідження впливу мікрокремнезему на їх водопоглинання.

Методика. Досліджена можливість використання пустої породи вугільної шахти в якості дрібного та крупного заповнювача для тампонажних та торкрет-бетонних матеріалів. Виконаний підбір оптимального гранулометричного складу тампонажних та торкрет-бетонних матеріалів. Розглянуте використання мікрокремнезему в якості активної мінеральної добавки, що здатна покращити технологічні та фізико-механічні властивості торкрет-бетонних сумішей. Експериментально визначені фізико-механічні властивості торкрет-бетонних зразків у сухому та водонасиченому стані.

Результати. Визначене оптимальне співвідношення компонентів Цемент : Пісок : Порода, що забезпечує технологічність торкрет-бетонних сумішей та найбільш високі фізико-механічні показники торкрет-бетонних матеріалів. Підібрана активна мінеральна добавка, що здатна підвищити міцність торкрет-бетонних матеріалів на стискання та вигин, а також підвищити їх стійкість до впливу води. Зроблені висновки щодо впливу води

як на властивості самої подрібненої породи, так і на властивості торкрет-бетонних сумішей.

Наукова новизна. Досліджені фізико-механічні властивості різних за складом торкрет-бетонних сумішей. Отримані залежності набору міцності торкрет-бетонних сумішей з використанням слабо метаморфізованих порід шахт Західного Донбасу в якості заповнювача. Отримані залежності кінетики твердіння торкрет-бетонних сумішей з добавкою мікрокремнезему для підвищення міцності в умовах підвищеної вологості.

Практична значимість. Використання пустої породи дозволить зменшити кількість матеріалів (кварцовий пісок, гранітний щебінь), що транспортуються на великі глибини вугільних шахт. Заміна традиційних заповнювачів тампонажних та торкрет-бетонних сумішей на пусту породу має значно зменшити собівартість робіт зі зведення та ремонту гірничих кріплень, а також зменшить навантаження на транспортну систему шахти та кількість порід, що видаються на поверхню.

Ключові слова: торкрет-бетон, тампонаж, мікрокремнезем, міцність на стиск, водопоглинання

Цель. Экспериментальное определение физико-механических характеристик торкрет-бетонных материалов на основе пустых пород и исследование влияния микрокремнезема на их водопоглощение.

Методика. Исследована возможность использования пустой породы угольной шахты в качестве мелкого и крупного заполнителя для тампонажных и торкрет-бетонных материалов. Выполнен подбор оптимального гранулометрического состава торкрет-бетонных материалов на основе пустых пород. Рассмотрено использование микрокремнезема в качестве активной минеральной добавки, которая способна улучшить технологические и физико-механические свойства торкрет-бетонных смесей. Экспериментально определены физико-механические свойства торкрет-бетонных образцов в сухом и водонасыщенном состоянии.

Результаты. Определено оптимальное соотношение компонентов Цемент : Песок : Порода, что обеспечивает технологичность торкрет-бетонных смесей и наиболее высокие показатели торкрет-бетонных материалов. Подобрана активная минеральная добавка, которая способна повысить прочность торкрет-бетонных материалов на сжатие и изгиб, а также повысить их стойкость к влиянию воды. Сделаны выводы о влиянии воды как на свойства самой измельченной породы, так и на свойства торкрет-бетонных смесей.

Научная новизна. Исследованы физико-механические свойства различных по составу торкрет-бетонных смесей. Получены зависимости набора прочности торкрет-бетонных смесей с использованием слабо метаморфизованных пород шахт Западного Донбасса в качестве заполнителя. Получены зависимости кинетики твердения торкрет-бетонных смесей с добавкой микрокремнезема для повышения прочности в условиях повышенной влажности.

Практическая значимость. Использование пустой породы позволит уменьшить количество материалов (кварцевый песок, гранитный щебень), транспортируе-

мых на большие глубины угольных шахт. Замена традиционных заполнителей тампонажных и торкрет-бетонных смесей на пустую породу должна значительно уменьшить себестоимость работ по возведению и ремонту горных крепей, а также уменьшить нагрузку на транспортную систему шахты и количество пород, выдаваемых на поверхность.

УДК 622.245

Я. С. Коцкулич, д-р техн. наук, проф.,
М. В. Сенюшкович, канд. техн. наук, доц.,
О. Б. Марцинків, канд. техн. наук, доц.,
І. І. Витвицький

Ключевые слова: торкрет-бетон, тампонаж, микрокремнезем, прочность на сжатие, водопоглощение

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.В. Солодянкіним. Дата надходження рукопису
17.04.14.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна,
 e-mail: drill@nung.edu.ua

ЦЕНТРУВАННЯ ОБСАДНИХ КОЛОН У ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИНАХ

Ya.S. Kotskulych, Dr. Sci. (Tech.), Prof.,
M.V. Seniushkovych, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
O.B. Martsynkiv, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
I.I. Vytvytskyi

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
 Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail: drill@nung.edu.ua

CASING STRING CENTERING IN DIRECTIONAL WELLS

Мета. Удосконалення технології підготовки ствола похило-скерованих свердловин для забезпечення якісного тампонування обсадних колон та формування надійного кріплення.

Методика. Розглядається модель свердловини з обсадною колоною, оснащеною центраторами, змодельований прогин обсадної колони, унаслідок чого утворюється зазор між колоною та стінкою свердловини. До уваги прийняті такі чинники: жорсткість обсадних труб, величина прогину, розтягуюча осьова сила, прикладена до обсадної колони нижче першого центратора, зенітний кут осі свердловини, густина рідин усередині обсадної колони та в кільцевому просторі. Кожен із зазначених чинників окремо та у сукупності визначають довжину півхвилі згину, що необхідно описати аналітичними залежностями.

Результати. Обґрунтована доцільність прийняття рішення щодо вибору величини зазору між обсадною колоною та стінкою свердловини, довжини її інтервалу між перерізами встановлення центраторів для конкретних геолого-технічних умов та вимог до якості кріплення. Розроблений алгоритм визначення довжини півхвилі згину обсадної колони в залежності від сукупності прийнятих чинників, за результатами багатofакторного аналізу встановлена вагомість кожного з них. Обґрунтована необхідність урахування жорсткості труб обсадної колони при визначенні довжини півхвилі, особливо для малих значень зенітного кута. Визначена величина сили, що діє на одиничний центратор, встановлений на обсадній колоні в похило-скерованій свердловині.

Наукова новизна. Полягає у встановленні залежностей довжини півхвилі згину обсадної колони від сукупності чинників, що впливають на надійність кріплення похило-скерованих свердловин.

Практична значимість. Удосконалена методика може бути покладена в основу оптимізації кількості центруючих пристроїв на обсадній колоні та оцінки їх працездатності, що дозволить уникнути ускладнень під час спуску колони та якісно підготувати ствол похило-скерованої свердловини до виконання тампонажних робіт.

Ключові слова: свердловина, обсадна колона, центратор, довжина півхвилі згину, зенітний кут

Постановка проблеми. Підвищення ефективності розробки нафтогазових родовищ та збільшення коефіцієнта флюїдовилучення можливе за рахунок нарощування обсягів буріння похило-скерованих свердловин. Однак практика спорудження таких свердловин поставила перед фахівцями цілу низку проблем, серед яких важливою є забезпечення необхідного рівня надійності кріплення свердловини як інженерної споруди. Надійність кріплення таких свердловин визначається багатьма чинниками, з яких слід виділити якість розмежування пластів. Унаслідок неякісного розмежування

пластів виникають міжпластові перетоки, міжколонні тиски, утворюються грифони, що призводить не тільки до втрат флюїду, але й необхідності витрати додаткових коштів на ремонтно-ізоляційні роботи. Якість розмежування пластів безпосередньо залежить від ступеня заміщення промивальної рідини в кільцевому просторі свердловини на тампонажний розчин, за низького рівня якого формуються так звані зони „защемлення“. На процес формування таких зон впливає підготовка ствола свердловини до цементування, технологічна оснастка обсадних колон, кількість і характеристика центруючих пристроїв, інтервали їх встановлення та ефективність роботи цих пристроїв.