

12. Петроченков Д. А., Ружицкий В. В. Минералогические особенности ювелирного пирита из меловых отложений Ульяновской области // Разведка и охрана недр. 2018. № 4. С. 7–12.

13. Полянин В. С., Полянина Т. А., Душманов Е. Н., Яковлева Е. И. Минерально-сырьевая база цветных камней России: перспективы ее освоения и развития // Разведка и охрана недр. 2015. № 9. С. 66–76. **PK**

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 10, pp. 80–84
DOI: 10.17580/gzh.2020.10.08

Material constitution of gem-quality ammonites – by-product of mining in the Saratov Region

Information about author

D. A. Petrochenkov¹, Associate Professor, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, p-d-a@mail.ru
¹Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Abstract

Manufactured articles of ammonites have been in increasingly higher demand in the recent decades. Ammonites have appeal for the unique shapes, color and age. The top suppliers of ammonites to the world market are Madagascar, Morocco, Canada and Russia. In Russia, gem-quality ammonites occur in the Saratov Region, apart from other places. The regional open pit mine at the settlement Dubki situated 7.5 km northeastward of Saratov supplies ammonites both to the Russian and global markets. The submicroscopic and electron microprobe analyses presented details of mineral composition and structure of ammonite shells. The test shell fragments included walls and partitions with layers of pyrite. The pyrite layers lay symmetrically relative to the partitions and inside walls of ammonite, and feature pronounced structural zonality. The partitions and walls are adjoined with narrow zones of fine-crystal pyrite. Then, a zone of coarse-crystal pyrite lies, with fragments of colloform pyrite. The gem-quality ammonites have mostly pyrites in their composition (to 96 % by mass) and are connected with the Upper Jurassic deposits. Among other things, ammonites contain aragonite, calcite, apatite, jarosite, gypsum, ferrian carbonate and organic substance. The original aragonite is preserved in walls and partitions of shells. Morphologically, the large prismatic, fine-crystal, colloform and globular species of pyrite are distinguished. Pyrite is actively decomposed by bacteria. The Saratov Region ammonites possess high decorative and processing properties, can be widely used in manufacturing of jewelry and are by-produced in the course of large-scale mining.

Keywords: gem-quality materials, ammonites, pyrite, aragonite, Upper Jurassic deposits, Saratov Region.

References

1. Walaszczyk I., Kennedy W. J., Dembicz K., Gale A. S., Praszkiert T. et al. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar. *Journal of African Earth Sciences*. 2014. Vol. 89. pp. 79–132.

2. Zakharov Yu. D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P. P., Smyshlyayeva O. P., Dril S. I. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. *Cretaceous Research*. 2016. Vol. 58. pp. 29–41.

3. Petrochenkov D. A. Features of mining upper Devonian Moroccan ammonites suitable for jewelry and ornamental purposes. *GJAB*. 2018. No. 2. pp. 34–41.

4. Benzaggagh M., Latil J.-L., Oumhamed M., Ferré B. Stratigraphic succession (Albian to lower? Cenomanian) and upper Albian ammonites and biozones from the Talerhza Basin (South Rifian Ridges, northern Morocco). *Cretaceous Research*. 2017. Vol. 73. pp. 71–90.

5. Benzaggagh M., Oumhamed M., Ferré B., Latil J.-L. Turonian cephalopods (ammonoids and a nautiloid) from the Wadi Daya Formation of the Talerhza Basin (South Rifian Ridges Domain, northern Morocco). *Cretaceous Research*. 2017. Vol. 74. pp. 109–119.

6. Mychaluk K. A., Levinson A. A., Hall R. L. Ammolite: Iridescent Fossilized Ammonite from Southern Alberta, Canada. *Gems & Gemology*. 2001. Vol. 37, No. 1. pp. 4–25.

7. Martindale R. C., Them T. R., Gill B. C., Marroquín S. M., Knoll A. H. A new Early Jurassic (ca. 183 Ma) fossil Lagerstätte from Ya Ha Tinda, Alberta, Canada. *Geology*. 2017. Vol. 45, No. 3. pp. 255–258.

8. Petrochenkov D. A., Bykhovskiy L. Z. Jewellery/ornamental ammonite: problems of valuation and production prospects. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2018. No. 4. pp. 15–22.

9. Rogov M. A., Baraboshkin E. Yu., Guzhikov A. Yu., Efimov V. M., Kiselev D. N. et al. The Jurassic-Cretaceous boundary in the Middle Volga region: Field guide to the International meeting on the Jurassic/Cretaceous boundary. Samara: FGOBU SamGU, 2015. 130 p.

10. Seltzer V. B. New occurrence of Kalloway–Lower Oxford ammonite fauna along the Volga River in the Saratov Region. *Geoecological problems of Saratov and the region: digest*. Saratov, 1999. Iss. 3. pp. 102–108.

11. Tesakova E. M., Rogov M. A. Paleocological analysis of ostracods in the Upper Kalloway–Lower Oxford rock mass of the Dubki open pit mine (Volga River area of the Saratov Region). *Paleontology, Biostratigraphy and Paleobiogeography of the Boreal Mesozoic Age: Proceedings of Scientific Session devoted to the 95th Anniversary of Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences V. N. Saks*. Novosibirsk: Geo, 2006. pp. 53–55.

12. Petrochenkov D. A., Ruzhitskiy V. V. Mineralogical peculiarities of jewelry pyrite from the cretaceous deposits of Ulyanovsk region. *Razvedka i okhrana nedr*. 2018. No. 4. pp. 7–12.

13. Polyaniy V. S., Polyaniy T. A., Dusmanov E. N., Yakovleva E. I. The mineral resource base of colored stones in the Russian Federation: perspectives of development are outlined. *Razvedka i okhrana nedr*. 2015. No. 9. pp. 66–76.

УДК 622.273.2

ТВЕРДЕЮЩИЕ ЗАКЛАДОЧНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПРИРОДНЫХ ПЕСКОВ

Т. И. РУБАШКИНА, доцент кафедры прикладной геологии и горного дела, канд. техн. наук, rubashkina@bsu.edu.ru

М. А. КОРНЕЙЧУК, ассистент кафедры прикладной геологии и горного дела

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Введение

Разработка составов твердеющих смесей для различных технологий закладочных работ осуществляется с учетом нормативной прочности, стоимости возведения искусственного массива, времени достижения им заданных прочностных характеристик, определяющих возможную интенсивность очистных работ, способа транспортирования смеси. Реологические свойства

Приведены результаты исследований возможности снижения расхода цемента в случае использования в составах закладочных смесей некондиционных тонких и очень тонких природных песков с повышенным содержанием илстых, глинистых и пылевидных компонентов путем улучшения их качества.

Показана технологическая и экономическая целесообразность применения отсева доменного гранулированного шлака фракции 0–5 мм для оптимизации тонких и очень тонких закладочных песков с завышенным содержанием глины без предварительной технологической подготовки (отмыва, домола, отсева и т. д.).

Ключевые слова: доменный гранулированный шлак, заполнитель, гранулометрический состав, твердеющая закладочная смесь, прочность, реологические свойства, растекаемость.

DOI: 10.17580/gzh.2020.10.09

© Рубашкина Т. И., Корнейчук М. А., 2020

твердеющих смесей должны обеспечивать устойчивое их транспортирование по трассе закладочного трубопровода и равномерное, без расслоения, растекание по камере. Прочностные свойства возведенного искусственного массива должны соответствовать принятым нормативным показателям.

Определяющими факторами при выборе материалов для твердеющих закладочных смесей на том или ином горнодобывающем предприятии, как правило, являются наличие достаточного количества необходимого материала в непосредственной близости от закладочного комплекса, его стоимость, физико-механические и химические свойства, а также технологические особенности подготовки для использования (дробление, помол, отсеивание и т. п.). Поэтому зачастую горные предприятия в целях экономии транспортных расходов вынуждены использовать местные материалы, не всегда соответствующие нормативным требованиям.

Объектом настоящих исследований являются твердеющие цементно-песчаные закладочные смеси на основе тонких и очень тонких природных песков с повышенным содержанием глинистых и пылевидных частиц. Тонкие и очень тонкие природные пески с модулем крупности M_k менее 0,7 и с повышенным (более 15 %) содержанием глинистых и пылевидных частиц считаются некондиционными и не используются в строительстве в качестве заполнителей для цементных бетонов и растворов, так как не соответствуют требованиям ГОСТ 8736 [1] по гранулометрическому составу (M_k не менее 1,2 для тонких песков) и содержанию глинистых и пылевидных частиц (допускается не более 10 %). Ограничения по модулю крупности и содержанию пылевидных и глинистых частиц (фракции менее 0,16 мм) обоснованы практикой и многочисленными исследованиями [2, 3]. С повышением дисперсности заполнителя увеличивается суммарная удельная поверхность его зерен, т. е. возрастает площадь сцепления зерен заполнителя с цементной матрицей, что вызывает соответствующий рост расхода воды для смачивания поверхности зерен [2, 3]. К снижению прочности твердеющих смесей приводит и повышенное содержание глинистых и пылевидных частиц в песке. Это объясняется тем, что пылевидные и глинистые частицы обволакивают зерна песка, тем самым снижая прочность сцепления (адгезию) песка с цементом [2, 3]. В соответствии с [1] содержание пылевидных и глинистых частиц в крупных и средних песках должно быть не более 3 %, в мелких и очень мелких песках с $M_k = 0,7 \div 1,5$ – не более 5 %, а в тонких и очень тонких песках с модулем крупности менее 0,7 – до 10 %.

Тем не менее некондиционные для строительных работ тонкие и очень тонкие природные пески давно и успешно применяют для приготовления твердеющих закладочных смесей, так как по сравнению с бетонами и растворами цементно-песчаные закладочные смеси имеют ряд специфических особенностей. Во-первых, для транспортирования закладочных смесей на значительные (до 5 км) расстояния по трубопроводу в самотечном режиме требуется их более высокая подвижность – не менее 13–14 см при определении по погружению конуса СтройЦНИИЛа [4] или не менее 220 мм по расплыву конуса на вискозиметре Суттарда. Для обеспечения такой подвижности и недопущения расслоения закладочной смеси на протяжении всего времени транспортирования

до места укладки составы смесей подбирают на повышенном, по сравнению с бетонами и растворами, водоцементном отношении ($B:C > 1$) и с повышенным (до 30 %) содержанием глинистых и пылевидных частиц в заполнителе. Свойство глинистых частиц набухать при взаимодействии с водой, увеличивая объем и вязкость глинистых суспензий, и находиться некоторое время во взвешенном состоянии, с одной стороны, благоприятно влияет на однородность и связанность твердеющих смесей на заполнителях с повышенным содержанием глины. Однако с другой стороны, процесс набухания и увеличения вязкости имеет динамический характер во времени, и растекаемость твердеющих смесей на основе песков с повышенным содержанием глины со временем заметно уменьшается. Поэтому для сохранения реологических свойств твердеющих смесей на время транспортирования к месту укладки также требуется увеличивать расход воды, а для сохранения требуемой прочности – и расход вяжущего или усложнять составы путем введения химических добавок [4]. Во-вторых, в зависимости от применяемой на горном предприятии технологии закладочных работ требуемая прочность твердеющей смеси характеризуется сравнительно невысокими значениями – от 1 до 10 МПа, следовательно, такую прочность можно обеспечить и при использовании некондиционных заполнителей, но с повышенным расходом портландцемента.

Поэтому задача снижения расхода дорогостоящего портландцемента с сохранением требуемых реологических свойств закладочных смесей и прочности твердеющей закладки при использовании разных некондиционных заполнителей остается актуальной, и решать ее предлагается разными способами: использованием комплексного вяжущего с заменой части цемента бесклинкерными добавками; разработкой бесцементного вяжущего на основе молотых доменных шлаков, золы-уноса ТЭЦ, цеолита и различных отходов производств; введением в состав закладочных смесей пластификаторов, модификаторов и других добавок, снижающих водопотребность и т. д. Например, авторы [5–18] предлагают технологии закладочных работ с частичной заменой портландцемента молотым доменным шлаком для условий различных горнодобывающих предприятий. За счет наличия в минеральном составе силикатов кальция доменные шлаки в молотом виде обладают слабыми вяжущими свойствами и успешно применяются для приготовления закладочных смесей в составе комплексного вяжущего. Однако тонкость помола шлаков должна быть соизмерима с тонкостью помола цемента, что требует дополнительных затрат на приготовление комплексного вяжущего. С другой стороны, при экономии какой-то доли портландцемента общий расход комплексного вяжущего и, соответственно, воды затворения в случае применения очень мелких заполнителей не уменьшится, а, возможно, и увеличится.

В процессе исследований ставили задачу снижения расхода цемента в случае использования в составах закладочных смесей некондиционных тонких и очень тонких песков путем улучшения качества последних – оптимизации гранулометрического состава в сторону увеличения модуля крупности, уменьшения удельной поверхности зерен и снижения содержания глинистых и пылевидных частиц.

Таблица 1. Физико-технические свойства закладочных песков месторождения Большие Маячки и отсева доменного металлургического шлака ПАО «Северсталь»

Материал	Остатки, % по массе, на ситах с размером отверстий, мм						Модуль крупности M_k	Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16, в том числе глинистые				
Природный песок	Частные						0,60 очень тонкий	18,29	2675	1630
	0,07	0,04	5,46	4,65	33,66	56,12				
	Полные									
Шлаковый песок	Частные						2,65 крупный	-	2700	1490
	2,07	10,63	52,35	24,40	6,39	4,15				
	Полные									
	2,07	12,70	65,06	89,46	95,85					

Методика и результаты исследования

Увеличить модуль крупности песка можно отсевом тонкой фракции или введением крупной фракции. В случае применения тонких и очень тонких песков отсев тонкой фракции, содержание которой составляет 40–80 %, нецелесообразно, поэтому выбран второй способ – введение в состав заполнителя материала с более высоким модулем крупности, по плотности (истинной и насыпной) одного порядка с песком и не содержащего глинистых компонентов.

Для исследования возможности оптимизации гранулометрического состава тонких и очень тонких песков были использованы вариативные закладочные пески (тонкие и очень тонкие с модулем крупности менее 0,7) месторождения Большие Маячки Белгородской области (далее «природный песок»). В качестве укрупняющего агента был выбран отсев гранулированного доменного шлака фракции 0–5 мм (далее «шлаковый песок») ПАО «Северсталь» (г. Череповец). В качестве вяжущего для исследований был использован портландцемент со шлаком ЦЕМ II/A-Ш 32.5 Н (ЗАО «Белгородский цемент») класса 32,5, активностью в возрасте 28 сут, 42,3 МПа.

Основные физико-технические свойства природного и шлакового песков (гранулометрический состав, модуль крупности, содержание глинистых и пылевидных частиц, истинная и насыпная плотность) определяли в аттестованной испытательной лаборатории НИУ «БелГУ» по методикам ГОСТ 8735–88 [19]. Результаты испытаний исходных материалов приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, природный песок имеет модуль крупности 0,6 за счет преобладания в гранулометрическом составе пылевидных фракций (размером менее 0,16 мм) и повышенного содержания глинистых частиц. Заполнитель с такими показателями можно считать некондиционным даже для приготовления твердеющих закладочных смесей, так как для равномерного смачивания и скрепления цементом преобладающего количества частиц сверхтонких фракций требуется повышенный расход воды и, возможно, цемента для обеспечения нормативной прочности.

Шлаковый песок имеет показатели крупного песка, не содержит глинистых компонентов, не требует никакой дополнительной обработки (отсева, помола и т. д.),

имеет сравнительно невысокую стоимость. Природный и шлаковый пески обладают близкими значениями истинной плотности, что упрощает подбор составов нерасслаивающихся закладочных смесей.

Оптимизацию природных тонких и очень тонких песков с повышенным содержанием пылевидных и глинистых компонентов до кондиционных параметров, т. е. искусственное укрупнение, выполняли с помощью подшихтовки шлакового песка. Шлак вводили в состав комплексного заполнителя в количестве 5–40 % с градацией в 5 % и определяли гранулометрический состав, модуль крупности, содержание глинистых и пылевидных частиц каждого состава по указанным выше методикам. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что при замене части тонкого и очень тонкого песка отсевом доменного гранулированного шлака фракции 0–5 мм модуль крупности оптимизированного заполнителя повышается в среднем на 0,1, а содержание пылевидных и глинистых частиц снижается на 0,9–1,0 % на каждые 5 % введенного шлакового песка.

В результате математического анализа экспериментальных данных табл. 2 получена формула для определения модуля крупности комплексного заполнителя на основе тонких и очень тонких песков в зависимости от доли введенного отсева гранулированного доменного шлака:

$$M_{k3} = M_{k1} + (M_{k2} - M_{k1})N, \tag{1}$$

где M_{k3} – модуль крупности оптимизированного комплексного заполнителя; M_{k1} – модуль крупности исходного природного песка;

Таблица 2. Физико-технические свойства оптимизированного заполнителя

Показатель	Свойства заполнителя при доле введенного шлакового песка в его состав								
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Модуль крупности	0,60	0,70	0,80	0,91	1,01	1,11	1,21	1,32	1,42
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	18,29	17,37	16,46	15,54	14,63	13,71	12,80	11,89	10,89

$M_{к2}$ – модуль крупности вводимого шлакового песка; N – отсев гранулированного шлака в комплексном заполнителе, доли ед.

Например, подставляя в формулу (1) численные значения параметров (модуль крупности природного песка $M_{к1} = 0,6$; модуль крупности укрупняющего агента $M_{к2} = 2,65$; доля укрупняющего агента в комплексном заполнителе $N = 0,25$), получим модуль крупности оптимизированного заполнителя $M_{к3} = 1,11$, что соответствует экспериментальным данным, приведенным в табл. 2. Таким образом, применяя формулу (1), можно рассчитать модуль крупности оптимизированного комплексного заполнителя при любой доле укрупняющего агента, зная модули крупности исходных компонентов. Можно решить и обратную задачу, т. е. определить количество укрупняющего агента, которое нужно ввести в состав комплексного заполнителя для достижения заданного гранулометрического состава (модуля крупности), преобразовав формулу (1) относительно N в виде

$$N = (M_{к3} - M_{к1}) / (M_{к2} - M_{к1}). \quad (2)$$

Для исследования влияния оптимизации в сторону укрупнения тонких и очень тонких закладочных песков на реологические и прочностные свойства твердеющей закладки были разработаны и исследованы в лабораторных условиях контрольные и экспериментальные составы твердеющей закладочной смеси.

Контрольные составы разработаны на основе природного песка с модулем крупности 0,6 и содержанием пылевидных и глинистых частиц 18,29 %, растекаемостью на вискозиметре Суттарда 220 мм и прочностью при сжатии после 28 сут нормального твердения 10 МПа (с водоцементным отношением В:Ц = 1,2); 4 МПа (с В:Ц = 1,3); 1 МПа (с В:Ц = 1,4).

Экспериментальные составы на комплексном заполнителе с разной долей шлакового песка разрабатывали также с водоцементным отношением В:Ц = 1,2 ÷ 1,4 для обеспечения прочностных характеристик и с сохранением растекаемости на вискозиметре Суттарда 220 мм. Прочность определяли на образцах-кубах размером 70,7×70,7×70,7 мм в процессе испытаний на одноосное сжатие после 28 сут нормального твердения с учетом поправочного коэффициента на размеры образца 0,85. Усадка образцов после твердения составила 3–4 %. Полученные результаты приведены в табл. 3 и для наглядности показаны на рис. 1.

Анализ данных табл. 3 и рис. 1 показывает, что за счет оптимизации гранулометрического состава некондиционных тонких и очень тонких природных песков путем введения в состав комплексного заполнителя 30–40 % отсева гранулированного доменного шлака фракции 0–5 мм расход цемента на 1 м³ снижается с 24,7–20,5 до 13,2–17,8 %. В абсолютном выражении снижение расхода цемента составило от 70 до 130 кг в зависимости от проектной прочности состава твердеющей смеси. При этом сохраняются транспортабельные свойства закладочной смеси (растекаемость 220 мм) и обеспечивается проектная прочность закладочного массива. Также следует отметить, что наибольший эффект от улучшения свойств заполнителя наблюдается в составах для получения прочности твердеющей закладки 10 МПа.

Для экономической оценки целесообразности оптимизации тонких и очень тонких закладочных песков отсевом доменного гранулированного шлака была рассчитана суммарная стоимость

Таблица 3. Составы твердеющей закладочной смеси на оптимизированном заполнителе

Шифр состава	Заполнитель		Расход цемента на 1 м ³ смеси прочностью при сжатии в возрасте 28 сут					
	Доля шлакового песка	Модуль крупности	10 МПа		4 МПа		1 МПа	
			кг	%	кг	%	кг	%
К	0	0,60	470	24,7	380	20,5	340	20,5
31	0,05	0,70	451	23,7	367	19,4	330	19,4
32	0,10	0,80	433	22,8	354	18,3	320	18,3
33	0,15	0,91	416	21,9	341	17,4	310	17,4
34	0,20	1,01	399	21,0	330	16,4	301	16,4
35	0,25	1,11	383	20,2	318	15,6	292	15,6
36	0,30	1,21	368	19,4	307	14,7	283	14,7
37	0,35	1,32	353	18,6	296	14,0	275	14,0
38	0,40	1,42	339	17,8	286	13,2	266	13,2

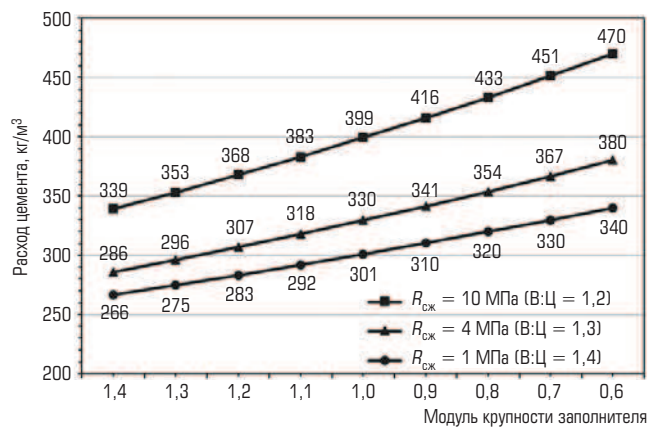


Рис. 1. Расход цемента на 1 м³ закладочной смеси в зависимости от модуля крупности заполнителя и требуемой прочности.

$R_{сж}$ – прочность твердеющей закладки при одноосном сжатии в возрасте 28 сут

твердых материалов (портландцемент, песок, шлак), расходуемых на 1 м³ закладочной смеси по формуле

$$C_{тв} = \rho_{см} (P_{зап} N_{п} U_{п} + P_{зап} N_{ш} U_{ш} + P_{ц} U_{ц}) / 100, \quad (3)$$

где $C_{тв}$ – стоимость твердых материалов (портландцемент, песок, шлак), расходуемых на 1 м³ закладочной смеси, руб.; $\rho_{см}$ – плотность закладочной смеси (1,9 т/м³); $P_{зап}$ – расход оптимизированного комплексного заполнителя, %; $N_{п}$, $U_{п}$ – доля песка в комплексном заполнителе и цена 1 т песка соответственно; $N_{ш}$, $U_{ш}$ – доля шлака в комплексном заполнителе и цена 1 т шлака соответственно; $P_{ц}$, $U_{ц}$ – расход цемента в процентах и цена 1 т цемента соответственно.

Так как специальная подготовка шлака (помол, отсев, сушка и т. д.) и существенное изменение технологической схемы приготовления и транспортирования к месту укладки закладочной смеси не требуется, энергетические и другие затраты, входящие в себестоимость закладки выработанного пространства, будем

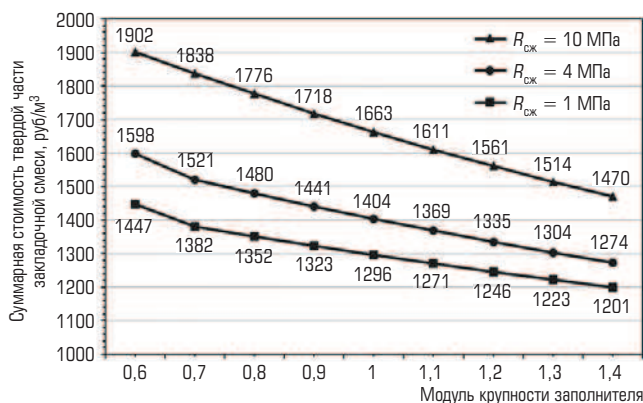


Рис. 2. Суммарная стоимость твердой части (портландцемент, песок, шлак) 1 м³ закладочной смеси в зависимости от модуля крупности заполнителя и проектной прочности твердеющего закладочного материала

считать постоянными. Для экономических расчетов были приняты рыночные цены на применяемые в данном исследовании материалы, которые в зависимости от поставщика колеблются в следующих пределах, руб/т: портландцемент – от 3900 до 5100; песок тонкий – от 80 до 150; отсев гранулированного доменного шлака фракции 0–5 мм – от 90 до 200. При этом для портландцемента и песка (контрольный состав) в расчетах была использована минимальная цена – 3900 и 80 руб/т соответственно, а для шлака – максимальная цена (200 руб/т). Результаты численных расчетов по формуле (3) стоимости твердых материалов на 1 м³ закладочной смеси контрольных и экспериментальных составов (см. табл. 2) приведены на рис. 2.

Численные расчеты по формуле (3) показывают, что, несмотря на то, что стоимость 1 т отсева гранулированного доменного шлака в среднем вдвое превышает стоимость 1 т тонкого природного песка, суммарная стоимость твердой части 1 м³ закладочной смеси при доле шлака в заполнителе 0,3–0,4 снижается на 300–400 руб. Это объясняется тем, что стоимость 1 т самого «дешевого» портландцемента несоизмеримо высока по сравнению с ценами на песок и шлаковый отсев, и экономия в среднем 7 % портландцемента на каждый 1 м³ твердеющей закладочной смеси с учетом объемов погашаемых пустот является существенной.

Выводы

Анализ результатов выполненных исследований позволил сделать следующие выводы.

1. За счет оптимизации качества некондиционных тонких и очень тонких песков путем введения в состав заполнителя укрупняющего агента, например отсева доменного гранулированного шлака фракции 0–5 мм с модулем крупности 2,65, можно снизить расход цемента в составах закладочной смеси с проектной прочностью 1–10 МПа в среднем на 7 % с сохранением прочностных и реологических свойств.

2. Экономическая оценка целесообразности оптимизации тонких и очень тонких закладочных песков отсевом доменного гранулированного шлака показала, что улучшение качества заполнителя за счет повышения модуля крупности, снижения содержания глинистых и пылевидных частиц, уменьшения удельной поверхности зерен позволяет снизить суммарную стоимость твердых материалов (портландцемент, песок, шлак), расходуемых на 1 м³ закладочной смеси, на 200–400 руб. в зависимости от назначения состава и проектной прочности твердеющего закладочного материала.

Библиографический список

- ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
- Баженов Ю. М. Технология бетона: учебник. – 5-е изд. – М.: АСВ, 2011. – 528 с.
- Кононова О. В., Чегаева А. И. Исследование свойств строительных растворов смесей при различном модуле крупности песка // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3.
- Монтянова А. Н., Гаркави М. С., Косова Н. С. Специфические особенности и эффективность применения добавок в закладочных смесях // ГИАБ. 2009. № 9. С. 287–295.
- Виноградов С. А., Кутузов В. И. Технология приготовления и формирования закладочной смеси для Яковлевского рудника // Горный журнал. 1991. № 10. С. 31–35.
- Калмыков В. Н., Белобородов И. С., Григорьев В. В., Сараскин А. В. Изыскание состава и технологии приготовления бесцементных закладочных смесей на основе известково-шлакового вяжущего // ГИАБ. 2005. № 7. С. 242–245.
- Ермолович Е. А. Бесцементная закладочная смесь на основе техногенных отходов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2010. № 9(80). С. 156–158.
- Гуревич Б. И., Токавкина В. В. Вяжущие материалы из шлаков цветной металлургии // Цветная металлургия. 2007. № 4. С. 10–16.
- Пат. 2455493 РФ. Состав закладочной смеси / Е. А. Ермолович, О. В. Ермолович, А. В. Ермолович, К. А. Измestьев, А. А. Филимонов; заявл. 31.05.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.
- Ананиев А. Утилизация доменного гранулированного шлака. Использование его в качестве добавок к бетону // Строительная газета. 2009. № 46. С. 13.
- Klassen V. K., Morozova I. A., Borisov I. N., Mandrikova O. S. Energy Saving and Increasing the Strength of Cement Using Steel Slag as a Raw Material Component // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. Vol. 18. Iss. 11. P. 1597–1601.
- Альгермиссен Д., Эренберг А. Возможность использования электросталеплавильного шлака в качестве основы гидравлического связующего // Черные металлы. 2018. № 9. С. 21–27.
- Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н. Разработка технологии закладочных работ на проектируемом Ново-Ленингорском руднике // ГИАБ. 2015. № 8. С. 25–32.
- Deng D. Q., Liu L., Yao Z. L., Song K. I.-I. L., Lao D. Z. A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 196. P. 100–109.
- Xing Ke, Xian Zhou, Xiaoshu Wang, Teng Wang, Haobo Hou, Min Zhou. Effect of tailings fineness on the pore structure development of cemented paste backfill // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 126. P. 345–350.
- Vrancken C., Longhurst P. J., Wagland S. T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production // Waste Management. 2017. Vol. 61. P. 40–57.
- Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н., Нуршайыкова Г. Т., Тунгушбаева З. К. Разработка технологии закладочных работ на основе цементно-шлакового вяжущего на Орловском руднике // ФТПРПИ. 2017. № 1. С. 84–91.
- Jarvie-Eggart M. E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. – Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. – 804 p.
- ГОСТ 8735–88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2018. – 29 с. **✉**

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 10, pp. 84–89
DOI: 10.17580/gzh.2020.10.09

Cemented backfill with low-grade natural sand

Information about authors

T. I. Rubashkina¹, Associate Professor at the Chair of Applied Geology and Mining, Candidate of Engineering Sciences, rubashkina@bsu.edu.ru

M. A. Korneichuk¹, Assistant at the Chair of Applied Geology and Mining

¹ Belgorod State University, Belgorod, Russia

Abstract

The subject of this research is cemented backfill mixtures made using fine and very fine natural sand with increased content of clay and flour particles. Aimed to study optimizability of grain size composition of low-grade fine and very fine natural sand, the physical and mechanical properties of sands from Bolshie Mayachki deposit in the Belgorod Region and blast-furnace granulated slag from metallurgical processing at Severstal were analyzed. Optimization of granular composition included enlargement of size modulus, reduction of specific surface of grains and decrease in the content of clay and flour particles. Initial sand was brought to standard quality level by introduction of slag sand (fractions of 0-5 mm). Then, the grain composition, particle size modulus, clay and dust-like particles content and specific surface area of each composite aggregate grain were determined using the methods described in the article. According to the test results, the increase in the proportion of slag in the composite aggregate leads to the decrease in the water demand due to enlargement of particles and lower content of clay components, which makes it possible to obtain compositions for cemented backfill with strength of 1–10 MPa at the reduced consumption of cement (by 7% on average) and with the preserved rheological characteristics.

Keywords: blast-furnace granulated slag, aggregate, particle size distribution, cemented backfill, strength rheological properties, flowability.

References

1. GOST 8736–2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow : Standartinform, 2019. 11 p.
2. Bazhenov Yu. M. Concrete technology : tutorial. 5th ed. Moscow : ASB, 2011. 528 p.
3. Kononova O. V., Chegeeva A. I. The different module size sand mortar investigation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 3.
4. Montyanova A. N., Garkavi M. S., Kosova N. S. Features and efficiency of additives to backfill mixtures. *GIAB*. 2009. No. 9. pp. 287–295.

5. Vinogradov S. A., Kutuzov V. I. Technology of composing and preparation of backfill for Yakovlevsky minea. *Gornyi Zhurnal*. 1991. No. 10. pp. 31–35.
6. Kalmykov V. N., Beloborodov I. S., Grigorev V. V., Saraskin A. V. Exploration of composition and preparation technology for cement-free backfills using lime-and-slag binder. *GIAB*. 2005. No. 7. pp. 242–245.
7. Ermolovich E. A. Cementless filling mix based on technological waste. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennyye nauki*. 2010. No. 9(80). pp. 156–158.
8. Gurevich B. I., Tyukavkin V. V. Binding materials made of slag of nonferrous metallurgy. *Tsvetnaya metallurgiya*. 2007. No. 4. pp. 10–16.
9. Ermolovich E. A., Ermolovich O. V., Ermolovich A. V., Izmestev K. A., Filimonov A. A. Composition of fill mixture. Patent RF, No. 2455493. Applied: 31.05.2011. Published: 10.07.2012. Bulletin No. 19.
10. Ananyev A. Utilization of granulated blast furnace slag. Its use as an additive to concrete. *Stroitel'naya gazeta*. 2009. No. 46. pp. 13.
11. Klassen V. K., Morozova I. A., Borisov I. N., Mandrikova O. S. Energy Saving and Increasing the Strength of Cement Using Steel Slag as a Raw Material Component. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2013. Vol. 18, Iss. 11. pp. 1597–1601.
12. Algermissen D., Ehrenberg A. Possibilities of EAF slag usage in cement production. *Chernye Metally*. 2018. No. 9. pp. 21–27.
13. Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N., Shaposhnik S. N. The development of backfilling technology in terms of Novo-Leningorsky mine planning. *GIAB*. 2015. No. 8. pp. 25–32.
14. Deng D. Q., Liu L., Yao Z. L., Song K. I.-I. L., Lao D. Z. A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 196. pp. 100–109.
15. Xing Ke, Xian Zhou, Xiaoshu Wang, Teng Wang, Haobo Hou, Min Zhou. Effect of tailings fineness on the pore structure development of cemented paste backfill. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 126. pp. 345–350.
16. Vrancken C., Longhurst P. J., Wagland S. T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*. 2017. Vol. 61. pp. 40–57.
17. Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. N., Shaposhnik S. N., Tursunbaeva A. K. Backfilling technology in kazakhstan mines. *Journal of Mining Science*. 2013. Vol. 49, Iss. 1. pp. 82–89.
18. Jarvie-Eggart M. E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Colorado : Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
19. GOST 8735–88. Sand for construction work. Testing methods. Moscow : Standartinform, 2018. 29 p.

Руководство минерально-сырьевого комплекса ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» выражает глубокую благодарность коллективу Издательского дома «Руда и Металлы» за подготовку и публикацию тематического июньского номера, посвященного 85-летию ПАО ГМК «Норильский никель», одного из крупнейших мировых производителей цветных и драгоценных металлов.

Необходимо отметить важность публичного освещения потенциала ресурсной базы полезных ископаемых и научных исследований в решении задач по дальнейшему освоению и развитию МСК Норильского промышленного района.

Благодарим коллектив Издательского дома «Руда и Металлы» за многолетний значительный вклад в формирование информационного пространства в сфере геологии и горного дела, за раскрытие важных научно-технических проблем развития горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, научно-исследовательских институтов и других организаций отрасли.

Позвольте пожелать коллективу Издательского дома «Руда и Металлы» дальнейшего процветания, реализации новых творческих планов и интересных проектов в деле освещения и развития горной промышленности России. Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

С уважением,
заместитель директора
по минерально-сырьевому комплексу



Т. С. Муштекенов

