

УДК 622.02:531

СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО МАССИВА

Е.А. Ермолович, А.А. Аникеев, О.В. Ермолович

Обоснован способ упрочнения искусственного массива после формирования из мелкодисперсного материала. Способ применяется после осушения массива до оптимальной влажности (не более 7 %), усадочных деформаций и дозакладочных работ. По периметру заложённого выработанного пространства в междукамерных целиках из буровых ортов инжецируют раствор полимерной композиции на основе карбамидной смолы. Это увеличивает предел прочности массива при сжатии до 7,4 МПа и позволяет добывать железную руду из междукамерных целиков, сокращая необходимость разработки новых месторождений.

Ключевые слова: искусственный массив, инжецирование, полимерная композиция, мелкодисперсные материалы, прочность массива, карбамидная смола, изометилтетрагидрофталевый ангидрид.

На одном из крупнейших горнодобывающих предприятий железорудной отрасли России и стран СНГ с подземным способом добычи руды – ПАО «Комбинат КМАруда» – создана и внедрена в промышленных объемах подземная геотехнология на основе размещения в подземном выработанном пространстве всех образующихся отходов обогащения руд.

По утверждению разработчиков технологии она базируется на принципах ресурсосохранения, управляемого ресурсовоспроизводства и безотходности [1]. Безусловно, что искусственный массив, сформированный на основе техногенных отходов, при сохранении основного своего назначения поддержания очистного пространства, позволяет минимизировать влияние горнодобывающих предприятий на экологию. В то же время полный отказ от использования вяжущих веществ при формировании искусственного массива ограничивает применение указанной технологии без изменения из-за оставления в целиках до 60 % железной руды [1]. Поэтому актуальность упрочнения искусственных гидрозакладочных массивов очевидна.

В работе [2] упрочнение горного массива трактуется как процесс, ориентированный на улучшение таких свойств массива, как прочность, водонепроницаемость, жесткость.

Известно, что для реализации разработанных другими авторами способов упрочнения гидрозакладочных массивов [3 – 5] до его формирования необходимы дополнительные операции в выработанном пространстве и расходование металлической арматуры в виде тросов, анкеров, обсадных труб, стержней. Использование металлических конструкций обладает существенными недостатками, а именно наличием коррозии металла, что негативно сказывается на прочности, трудоемкости работ при возведении и увеличении затрат дорогостоящих материалов. Необходимо

подчеркнуть, что применение описанных способов могут привести к существенному снижению безопасности работ, так как при этом для размещения металлических элементов необходимо присутствие рабочих в выработанном пространстве.

Одним из инновационных способов упрочнения искусственных массивов из мелкодисперсного материала является химическое упрочнение, основанное на применении полимерных композиций: полиуретановых, карбамидных, эпоксидных, феноло-формальдегидных и т. д. Авторы работ [6, 7] обращают внимание, что выбор материалов значительно определяется целью технологии, типом породы или грунта.

В результате ранее проведенных исследований для упрочнения искусственного массива авторами был разработан и исследован состав на основе карбамидной смолы и изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида (изо-МТГФА). Установленные на основе регрессионной модели зависимости относительных изменений предела прочности при сжатии и деформации расширения образцов искусственного массива от концентрации изо-МТГФА [8] позволили разработать эффективный способ упрочнения, позволяющий изменять состояние массива для создания рациональных технологий разработки.

Разработанный способ реализуется нижеуказанным путем (рисунок).

Выработанное пространство камеры 4 заполняется гидрозакладочным мелкодисперсным материалом без применения вяжущих веществ. После осушения массива до оптимальной влажности (не более 7%), усадочных деформаций и дозакладочных работ по периметру заложенного выработанного пространства 4, в междукламерных целиках 5 проводятся по их длинным сторонам буровые орты 1 снизу вверх на расстоянии около 20 м по вертикали друг под другом. Из буровых ортов веером бурятся скважины 2, из которых через забивные инъекторы, снизу в восходящем порядке в приконтурные участки 3 массива инъецируется раствор полимерной композиции, содержащий карбамидную смолу марки КФ-МТ-15 и отвердитель изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида (изо-МТГФА) в следующих пропорциях ингредиентов, масс. %: карбамидная смола плотностью $1,257 \text{ г/см}^3$ – 83,3 % и изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида плотностью $1,203 \text{ г/см}^3$ – 16,7 %. Упрочнение приконтурной зоны позволяет существенно увеличить прочность искусственного массива при сжатии, что даст возможность добывать железную руду из междукламерных целиков, сокращая необходимость разработки новых месторождений.

Для проверки эффективности применяемого в способе состава была изготовлена модель искусственного массива с влажностью 3 % из мелкодисперсного гидрозакладочного материала на основе отобранных из камеры отходов обогащения железистых кварцитов, сгущенных флокулянтами. Химический состав материала приведен в табл. 1.

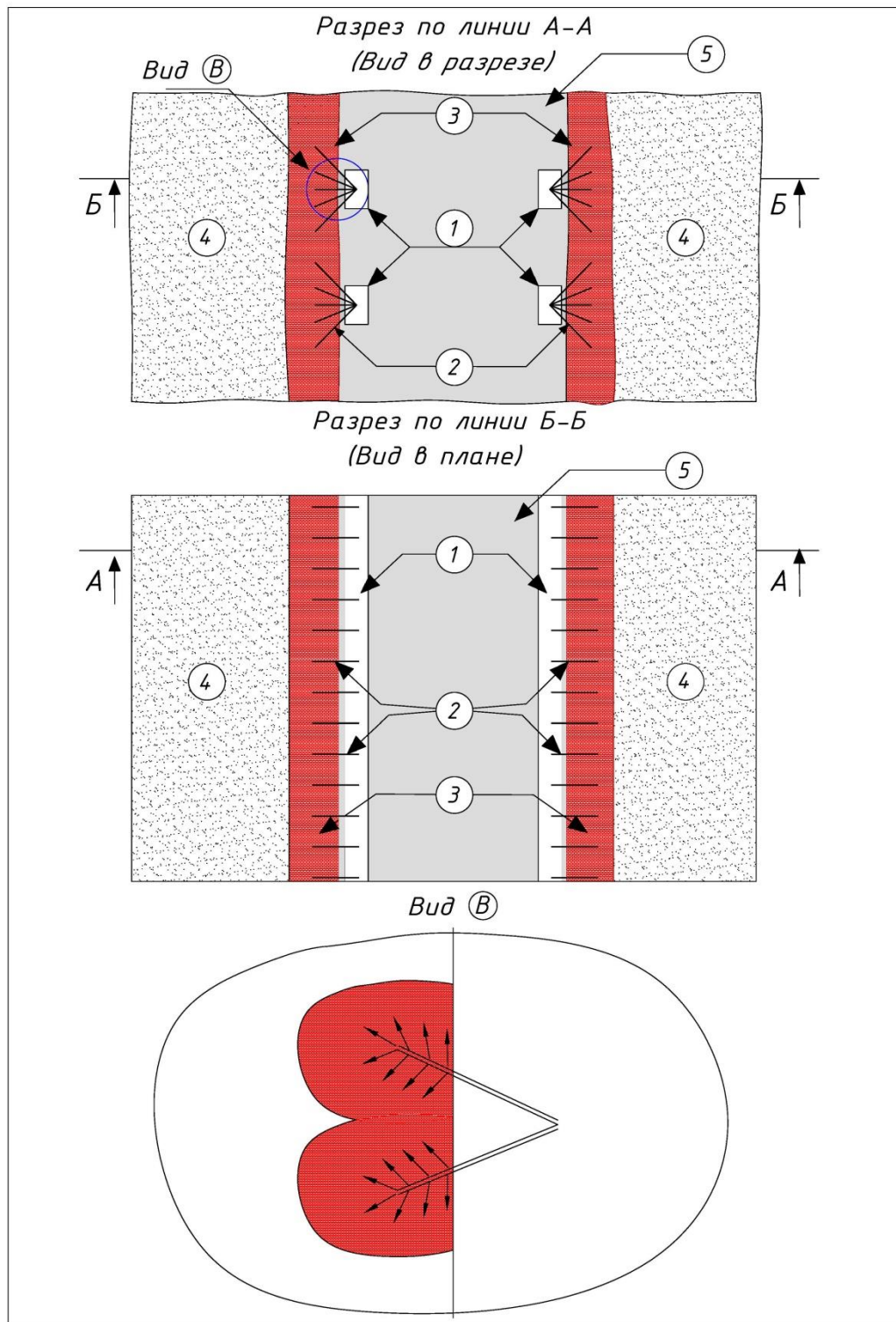


Схема упрочнения искусственного массива:

1 – буровые орты; 2 – скважины для доставки инъецируемого раствора в упрочняемый массив; 3 – упрочненные участки массива; 4 – камера, заложенная отходами обогащения; 5 – междукамерный целик

Таблица 1

Химический состав отходов обогащения железистых кварцитов

Содержание, % масс.							
Fe ₂ O ₃	SiO ₂	S	P	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	Прочие
13,14	70,72	0,116	0,061	4,15	1,36	3,97	6,48

В образцы инъецировали при 20 °С состав, который готовили смешиванием карбамидная смола марки КФ-МТ-15 (ТУ 6-06-12-88) плотностью 1,257 г/см³ и изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида (ТУ 6-10-124-91) плотностью 1,203 г/см³ при следующем соотношении компонентов, масс. %: карбамидная смола – 83,3 % и изо-метилтетрагидрофталевоый ангидрид – 16,7 %. При приготовлении раствора ангидрид добавляли к карбамидной смоле.

По истечении 30, 60 и 90 суток на образцах-кубах с размером грани 0,7 см определяли предел прочности при сжатии на 7-тонном ручном гидравлическом прессе ПРГ-1-70. Данные испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментально полученные данные

№ серии	Содержание компонентов, масс. %		Температура раствора, °С	Время гелеобразования, мин.	Предел прочности при сжатии в возрасте 30/60/90 суток, МПа
	Карбамидная смола	изо-МТГФА			
1 (контрольная)	0	0	-	-	0
2	83,3	16,7	20	50	5,8/6,8/7,4

В работе [9] доказано, что при высоте искусственного массива более 60 м прочность искусственного массива должна быть не менее 6...7 МПа. Соответственно при вертикальной высоте обнажения менее 60 м возможна меньшая прочность.

Ранее выполненными исследованиями [8] было установлено, что время гелеобразования разработанного состава повышается до 63 мин при 13 °С, что позволяет при необходимости увеличить расстояния, или время его транспортировки до потери проникающей способности.

Анализ изложенного материала доказывает, что разработанный способ упрочнения искусственного массива на основе изменения физико-механических свойств переработанных горных пород позволяет увеличить прочность при сжатии искусственного массива на основе мелкодисперсного материала до 7,4 МПа, инъецирую в него раствор полимерной композиции в следующих пропорциях ингредиентов, % по массе: карбамидная смола плотностью 1,257 гр/см³ – 83,3 % и изометилтетрагидрофталевого ангидрида плотностью 1,203 гр/см³ – 16,7 %. Увеличенное время гелеобразования обеспечивает возможность управления процессом из-за более длительного сохранения проникающей способности раствора полимерной композиции.

Список литературы

1. Ресурсовоспроизводящая безотходная геотехнология комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / С. Г. Лейзерович, И. И. Помельников, В. В. Сидорчук, В. К. Томаев; под ред. Д. Р. Каплунова. М.: Горная книга, 2012. 547 с.
2. Wang C., Li X., Xiong Z., Wang C., Su C., Zhang Y. Experimental study on the effect of grouting reinforcement on the shear strength of a fractured rock mass. 2019. PLoS ONE 14(8): e0220643. DOI: 10.5061/dryad.nm3sf2t
3. Способ закладки отработанных камер: пат. 2367797 РФ. МПК E21F 15/00; опубл. 20.09.2009. Бюл. № 28.
4. Способ упрочнения гидрозакладочных массивов: пат. 2369691 РФ. МПК E21F 15/00; опубл. 10.10.2009. Бюл. № 28.
5. Способ упрочнения поверхностей гидрозакладочных массивов: пат. 2395797 РФ. МПК E21F 15/00; опубл. 27.07.2010. Бюл. № 21.
6. Wang Yixuan. A study on chemical stabilization of Oil Sands Mature Fine Tailings. 2017. Electronic Thesis and Dissertation Repository. 4937.
7. Ермолович Е.А., Донецкий С.В., Ермолович О.В. Способ упрочнения гидрозакладочного массива // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. Вып. 3. С. 239-245.
8. Ермолович Е.А., Аникеев А.А., Ермолович О.В. Состав для упрочнения искусственного массива // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. Вып. 3. С. 269-339.
9. Голик В.И. Оптимизация нормативной прочности твердеющих смесей при закладке пустот // ГИАБ. 1999. №3. С. 69-70.

Ермолович Елена Ахмедовна, д-р техн. наук, проф., elena.ermolovich@mail.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Аникеев Артем Алексеевич, аспирант, geoartanik@mail.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Ермолович Олег Вячеславович, директор, oleg.ermolovich@mail.ru, Россия, Белгород, ООО «Торговый дом «Карина»

METHOD FOR STRENGTHENING OF ARTIFICIAL MASSIF

E.A. Ermolovich, A.A. Anikeev, O.V. Ermolovich

A method for strengthening of artificial massif after formation from a finely dispersed material is substantiated. The method is applied after massif draining to the optimum moisture content (no more than 7 %), shrinkage deformations and additional backfilling. Along perimeter of the filled mined-out space a solution of a polymer composition based on carbamide resin is injected through the wells from drilling orts, carried out in inter-chamber pillars. This increases the compressive strength of the massif to 7,4 MPa and will allow the extraction of iron ore from inter-chamber pillars, reducing the need to develop new deposits.

Key words: artificial massif, injection, polymer composition, fine materials, massif strength, urea resin, iso-methyltetrahydrophthalic anhydride.

Ermolovich Elena Akhmedovna, doctor of technical science, professor, professor, elena.ermolovich@mail.ru, Russia, Belgorod, Belgorod National Research University,

Anikeev Artem Alekseevich, postgraduate, geoartanik@mail.ru, Russia, Belgorod, Belgorod State National Research University,

Ermolovich Oleg Vjacheslavovich, director, oleg.ermolovich@mail.ru, Russia, Belgorod, LLC Trading House "Karina"

Reference

1. Resource-reproducing waste-free geotechnology for the integrated development of deposits of the Kursk magnetic anomaly / S. G. Lazerovich, I. I. Pomelnikov, V. V. Sidorchuk, V. K. Tomaev; edited by D. R. Kaplunov. M.: Gornaya kniga, 2012. 547 p.
2. Wang C., Li X., Xiong Z., Wang C., Su C., Zhang Y. Experimental study on the effect of grouting reinforcement on the shear strength of a fractured rock mass. 2019. PLoS ONE 14(8): e0220643. DOI: 10.5061/dryad.nm3sf2t
3. The method of laying waste chambers: pat. 2367797 RF. IPC E21F 15/00; publ. 09/20/2009. Byul. No. 28.
4. Method of hardening of hydraulic massifs: pat. 2369691 RF. IPC E21F 15/00; publ. 10.10.2009. Byul. No. 28.
5. Method of hardening the surfaces of hydraulic massifs: pat. 2395797 RF. IPC E21F 15/00; publ. 27.07.2010. Byul. No. 21.
6. Wang Yixuan. A study on chemical stabilization of Oil Sands Mature Fine Tailings. 2017. Electronic Thesis and Dissertation Repository. 4937.
7. Ermolovich E.A., Donetskiy S.V., Ermolovich O.V. Method of hardening of a hydro-laying array // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2018. Issue 3. pp. 239-245.
8. Ermolovich E.A., Anikeev A.A., Ermolovich O.V. Composition for strengthening an artificial array // Proceedings of the Tula State University. Earth sciences. 2021. Issue 3. pp. 269-339.
9. Golik V.I. Optimization of the normative strength of hardening mixtures when laying voids // GIAB. 1999. No. 3. pp. 69-70.