

УДК 622.02:531 DOI 10.46689/2218-5194-2022-2-1-443-451

## УПРОЧНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО МАССИВА ПУТЕМ СОЗДАНИЯ В НЕМ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

*Разработан способ возведения искусственной опоры для упрочнения искусственного массива на стадии его формирования путем сооружения опалубки из отработанных автошин, которые укладывают в штабель от почвы до кровли выработки. Опалубку заполняют упрочняющим полимерным раствором, после схватывания, которого камеру изолируют от сопредельных выработок перемычками и заполняют гидравлической закладкой. В качестве компонентов раствора применяют карбамидную смолу и изометилтетрагидрофталевый ангидрид. Прочность образцов упрочняющего раствора искусственной опоры составляет от 30 до 80 МПа.*

*Ключевые слова: искусственный массив, искусственные опоры, полимерный раствор, отработавшие автошины, прочностные свойства, карбамидная смола*

Прочность искусственных массивов и их боковых поверхностей должна выдерживать не только вертикальные нагрузки налегающих сверху пород, но и нормальные напряжения от воздействия взрывов при отработке междукламерных целиков. Из известных способов упрочнения закладочных массивов последнему требованию организации закладочных работ соответствует только полная твердеющая закладка камер [1].

Однако данный способ лишает возможности в будущем извлекать полезные компоненты, в частности металлы, из хвостов обогащения и безвозвратно исключает данные техногенные ресурсы из пользования. Например, благородные металлы, количество которых сравнимо с запасами золото-платино-металльного месторождения, являются основой техногенных месторождений из хвостов обогащения железных руд КМА [2].

Использование искусственных опор для поддержания кровли в выработанном пространстве шахт и рудников позволит закладывать выработанное пространство отработанных камер гидравлической закладкой без ущерба для прочности искусственного массива, но с последующей возможностью при необходимости извлечения из отходов обогащения полезных компонентов.

В работе [3] приводится опалубка для формирования искусственного целика, которая включает вертикально установленные телескопически раздвижные жесткие цилиндры с боковыми вводным и выпускным патрубками для заполнения ее закладочным материалом. Недостатком описанной опалубки является повышенный расход твердеющей смеси и большая металлоемкость конструкции.

Известен способ [4] упрочнения поверхностей гидрозакладочных массивов. Способ включает «подачу закладочных материалов с различным

содержанием вяжущих, отличающийся тем, что перед гидрозакладкой камеры до уровня вентиляционного орта мелкодисперсным материалом без вяжущих проходят на уровне бурового орта в междукамерных целиках по периметру отработанной камеры полуоткрытые выработки, в которых сооружают выступающую глухой частью в выработанное пространство деревянную крепь, и возводят в выпускных выработках дренажные перемычки, а после дренажа воды и усадки закладочного массива из сохраненной полуоткрытой выработки вдоль обрабатываемых целиков бурят ряд вертикальных и наклонных скважин на всю мощность закладочного массива, с поверхности которого в скважины опускают обсадные трубы и арматурные стержни, превышающие уровень закладочного массива, и только потом заполняют твердеющим раствором: сначала через скважины, – сохраненные полуоткрытые выработки, затем – сами скважины и в последнюю очередь – верхнюю часть камеры до ее потолочины» [4]. Недостатком данного способа являются неопределенность в величине прочности сформированного массива, большой расход обсадных труб и арматурных стержней. Кроме того, коррозия металла может отрицательно сказаться на геомеханических процессах.

Научный и технический интерес вызывает способ возведения искусственных опор в выработанном пространстве камер [5]. Способ осуществляют «путем сооружения опалубки и заполнения ее твердеющим закладочным материалом. При этом опалубку в выработанном пространстве камеры возводят из отработавших автошин, которые укладывают в штабель от почвы до кровли выработки, последовательно скрепляя автошины между собой и заполняя породой, после чего на опалубку по контакту с кровлей укладывают уплотнительное покрытие и через отверстие в нем подают твердеющий раствор, после схватывания которого камеру изолируют от сопредельных выработок перемычками и заполняют гидравлической закладкой» [5]. Недостатком данного технического решения являются ограниченный контакт упрочняющего раствора из-за конструктивной особенности элементов несъемной опалубки, отсутствие направляющих систем для элементов опалубки, отсутствие закрепления опорной (несущей) колонны между почвой и кровлей камеры и неопределенность в величине прочности искусственной опоры.

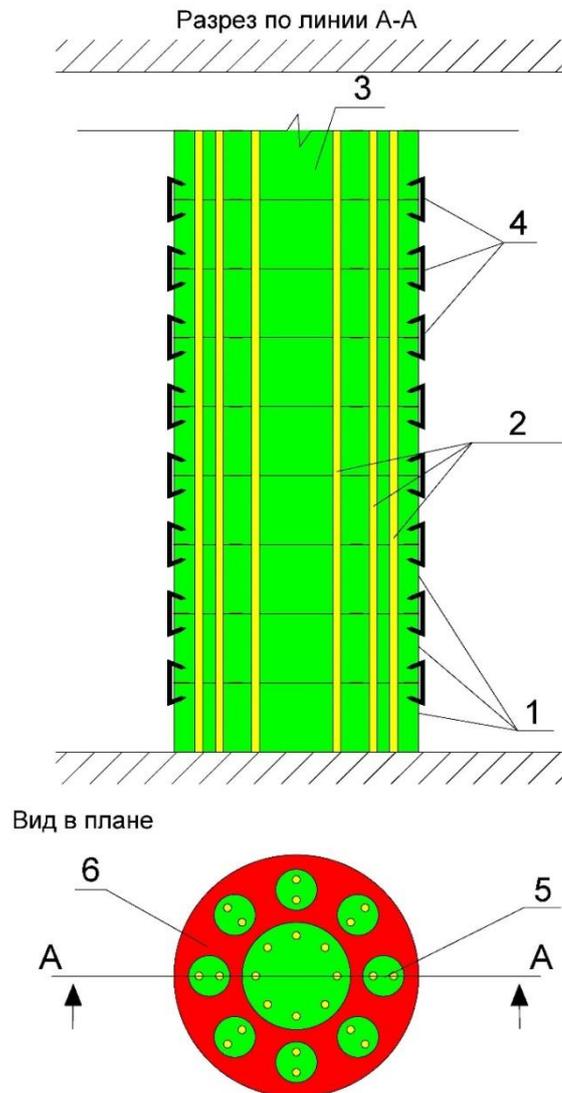
В то же время в работе [6] была доказана целесообразность использования полимерных составов для упрочнения искусственных массивов на стадии их формирования в качестве несущих элементов.

Цель исследования – разработка способа возведения искусственной опоры для упрочнения искусственного массива на стадии его формирования.

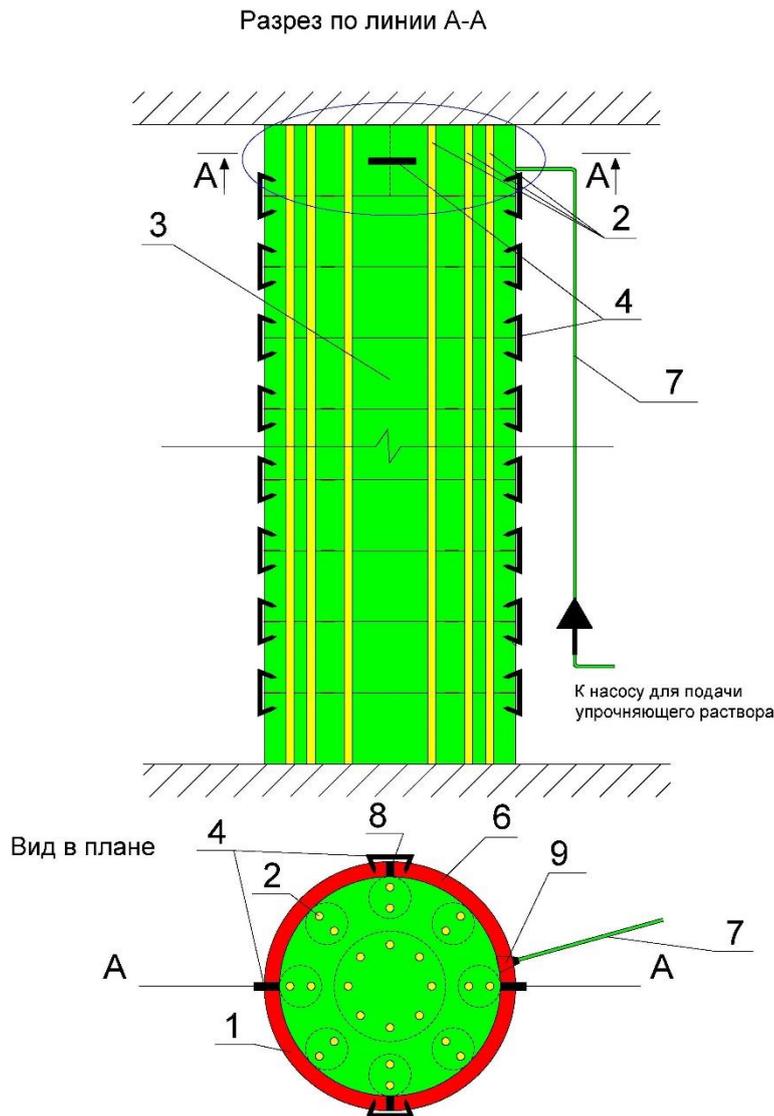
Решение поставленной научно-технической задачи достигается тем, что предложен способ возведения искусственной опоры путем сооружения опалубки из отработанных автошин, которые укладывают в штабель от

почвы до кровли выработки, последовательно скрепляя между собой соединительными скобами, и заполняют ее упрочняющим раствором. После схватывания раствора камеру изолируют от сопредельных выработок перемычками и заполняют гидравлической закладкой.

Осуществление разработанного способа изображено на рис. 1, 2.



**Рис. 1. Искусственная опора, являющаяся несущей колонной, заполненная упрочняющим раствором с приведенной схемой армирования искусственной опоры: 1 – отработанные автошины; 2 – арматурные стержни из стекловолокна; 3 – упрочняющий раствор; 4 – соединительные скобы; 5 – сквозные отверстия; 6 – зоны, в которых не контактирует упрочняющий раствор**



**Рис. 2. Схема подачи упрочняющего раствора в полости опор и схема соединения заключительной автошины: 1 – отработанные автошины; 2 – арматурные стержни из стекловолокна; 3 – упрочняющий раствор; 4 – соединительные скобы; 6 – зоны, в которых не контактирует упрочняющий раствор; 7 – специальный транспортировочный рукав; 8 – места стыков; 9 – специальное технологическое отверстие**

Способ возведения искусственной опоры осуществляют следующим образом. Опалубку возводят из отработанных автошин 1 карьерных самосвалов. Возможно, использовать любые автошины, в качестве примера предлагаются автошины 21.00-35 Бел-51А нс 36. Данные автошины получили широкое применение на большегрузных карьерных самосвалах марки «Белаз», а также их зарубежных аналогах общей грузоподъемностью до 50 т. Выбор обусловлен несколькими факторами:

– широкая распространенность на технике и соответственно в дальнейшем недефицитность при использовании на данных работах;

– удобные геометрические параметры: диаметр покрышки 2004 мм, в изношенном состоянии чуть менее 2000 мм; ширина профиля – 571 мм, высота профиля – 557,5 мм; внутренний (посадочный) диаметр составляет 889 мм, что соответствует 35 диску; относительно небольшая масса – 523,21 кг.

До возведения искусственной опоры в выработанном пространстве отработанной камеры заранее подготавливают и выравнивают основание с выпусками армировки в виде арматурных стержней из стекловолокна 2.

В зонах 6, в которых не контактирует упрочняющий раствор, упрочняющий раствор 3, залитый в автошины 1 между собой не контактирует, что обуславливается конструктивной особенностью элементов несъемной опалубки.

Для устранения недостаточного контакта упрочняющего раствора 3 в отработанных автошинах 1 прорезают кольцевыми пилами по их окружности сквозные отверстия 5, которые в свою очередь обеспечат вертикальное сообщение для упрочняющего раствора 3 и армирование материалами на основе стекловолокна 2.

Армирование материалами на основе стекловолокна в сравнении с металлом не подвержено влиянию агрессивных сред горных пород и подземных вод на коррозионную стойкость, этот материал диэлектричен, отличается низким коэффициентом теплопроводности, малой массой, не токсичен, по степени воздействия на организм человека и окружающую среду относится к четвертому малотоксичному классу опасности. Как следствие, в общем, более устойчив и долговечен. Помимо этого, если проводить сравнение армирования из материалов на основе металла и стекловолокна по таблице соответствий, то при выборе изделий на основе стекловолокна при сохранении прочностных параметров возможно использование меньших диаметров. Например, 12-мм арматурный стержень из стекловолокна соответствует прочностным параметрам 16-мм из металла, при этом сохраняя преимущество в низкой цене и меньшей массе, что, в свою очередь, упростит логистику и положительно скажется на общей себестоимости инженерного сооружения.

На арматурные стержни из стекловолокна 2 нанизывают отработанные автошины 1, последовательно скрепляя их скобами 4, наращивая при этом общую высоту блока. Изначально, предлагается закладывать девять рядов, что соответствует высоте до пяти метров. Это обуславливается тем, что работы по возведению первого блока, играющего роль «цокольного элемента», удобнее выполнять в пределах вышеуказанной высоты, исходя из соображений специфики проведения работ и особенностей упрочняющего раствора. После формирования блока через верх опоры по специальному транспортировочному рукаву 7 производят насосом нагнетание

упрочняющего раствора из емкости в подготовленные элементы первого блока опоры, оставляют при этом выпуски армирования для скрепления с последующими блоками. И так далее.

До подведения опоры под кровлю камеры выполняют технологические отверстия в потолочине камеры, закрепляют в них стержни, после чего устанавливают заключительную разрезанную по диаметру на две равные составные части и вырезанным профилем по окружности отработанную автошину. В местах стыков 8 составных частей отработанной автошины 1 производят крепление соединительными скобами 4. В области крепления протектора заключительной автошины обустривают специальное технологическое отверстие 9, через которое насосом производят нагнетание упрочняющего раствора, в качестве которого можно применять любой твердеющий раствор с подходящими значениями прочности, однако авторы рекомендуют применение полимерного раствора при следующем соотношении компонентов, масс. %: карбамидная смола, плотностью  $1,257 \text{ г/см}^3$  – 77,7-95,4 %; изометилтетрагидрофталевый ангидрид, плотностью  $1,203 \text{ г/см}^3$  – 4,6-22,3 %.

Выбор полимерного состава объясняется не только его стабильным качеством прочности по всей высоте опоры, стойкостью к агрессивным средам, но и высочайшими значениями прочности, что немаловажно в особо сложных гидрогеологических условиях нахождения искусственного массива, в отличие от материалов на основе цемента, которые предпочтительны с точки зрения минимизации затрат, но характеризуются нестабильным качеством цементирования из-за расслоения [7] и действия агрессивных сред.

Свойства компонентов, применяемых в полимерном составе, и порядок его приготовления подробно описаны в работах [6,8].

Результаты определения предела прочности при сжатии образцов упрочняющего раствора искусственной опоры в возрасте твердения от 30 до 120 суток при различном содержании компонентов приведены в таблице. В качестве инструмента определения использовался гидравлический пресс ПГМ-1000МГ4.

В результате после схватывания раствора в выработанном пространстве камеры образуется искусственная опора, представляющая собой несущую колонну, обладающая высокой несущей способностью при нагрузках, создаваемых налегающей толщиной пород, за счет высокой прочности с обеспечением вертикального ее положения опор и закрепления их между почвой и кровлей камеры. После схватывания упрочняющего раствора камеру изолируют от сопредельных выработок перемычками и заполняют гидравлической закладкой.

**Результаты испытаний образцов упрочняющего раствора  
искусственной опоры**

Номер состава	Содержание компонентов, масс. %		Прочность образцов при одноосном сжатии, МПа, в возрасте		
	Карбамидная смола	изо-МТГФА	30 суток	60 суток	120 суток
1	95,44	4,56	48	62,03	76,35
2	93,31	6,69	35,19	60,48	81,46
3	91,27	8,73	37,55	44,52	70,69
4	89,32	10,68	–	–	62,35
5	87,45	12,55	27,83	33,58	62,25
6	83,94	16,06	23,29	34,74	50
7	80,70	19,3	19,96	26,58	37,77
8	77,7	22,3	19,5	17,89	29,9

При необходимости разработанный способ упрочнения искусственного массива не только позволит обрабатывать оставленные целики в которых теряется до 60 % полезного ископаемого [9] , но и в дальнейшем разрабатывать сам искусственный массив для извлечения полезных компонентов из хвостов обогащения.

### Список литературы

1. Комаров Е.И., Фурсов Е.Г., Комаров К.Е. Организация закладочных работ с буронабивными сваями-стойками при поэтажно-камерной системе разработки // Маркшейдерия и недропользование. 2014. №3(71). С 67-70.
2. Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 2. С. 101-114.
3. Опалубка для возведения искусственного целика: пат. SU 635261. МПК E21F 15/00. Опубл. 30.11.1978.

4. Способ упрочнения поверхностей гидрозакладочных массивов: пат. 2395797 РФ. МПК E21F 15/00: опубл. 27.07.2010. Бюл. № 21.

5. Способ возведения искусственных опор в выработанном пространстве камер: пат. 2521269 РФ. МПК E21F 15/02: опубл. 27.06.2014. Бюл. № 18.

6. Ермолович Е.А., Аникеев А.А., Ермолович О.В. Прочностные и деформационные свойства полимерного состава для упрочнения искусственного массива // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 2. С. 269-276.

7. Increasing the stability of mine stopes by injection hardening of the near-contour mass / V. Melnik, P. Grechishkin, V. Gornostaev, V. Shcherbakov // XX Conference of PhD Students and Young Scientists: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 684 (2021) 012013. doi:10.1088/1755-1315/684/1/012013.

8. Ермолович Е.А., Аникеев А.А., Ермолович О.В. Состав для упрочнения искусственного массива // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 3. С. 269-276.

9. Ресурсовоспроизводящая безотходная геотехнология комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / С. Г. Лейзерович, И. И. Помельников, В. В. Сидорчук, В. К. Томаев. М.: Горная книга, 2012. 547 с.

*Ермолович Елена Ахмедовна, д-р техн. наук, проф., [elena.ermolovich@mail.ru](mailto:elena.ermolovich@mail.ru), Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,*

*Аникеев Артем Алексеевич, асп., [geoartanik@mail.ru](mailto:geoartanik@mail.ru), Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,*

*Ермолович Олег Вячеславович, директор, [oleg.ermolovich@mail.ru](mailto:oleg.ermolovich@mail.ru), Россия, Белгород, ООО «Торговый дом «Карина»*

#### *STRENGTHENING OF THE ARTIFICIAL MASSIF BY CREATING SUPPORTING ELEMENTS IN IT*

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

*A method for strengthening an artificial massif at the stage of its formation by constructing a formwork from used tires is developed. Said tires are laid in piles from soil to course roof of the working, interconnected and filled with with a reinforcing polymer solution. After cementation of said solution, the chamber is isolated from adjacent workings by webs and filled with hydraulic fill. Carbamide resin and iso-methyltetrahydrophthalic anhydride are used as components of the solution. The strength of samples of the reinforcing solution of an artificial support is from 30 to 80 MPa.*

*Key words: artificial massif, artificial supports, polymer solution, used tires, strength properties, urea resin.*

*Ermolovich Elena Akhmedovna, doctor of technical sciences, professor, [elena.ermolovich@mail.ru](mailto:elena.ermolovich@mail.ru), Russia, Belgorod, Belgorod National Research University,*

*Anikeev Artem Alekseevich, asp., [geoartanik@mail.ru](mailto:geoartanik@mail.ru), Russia, Belgorod, Belgorod State National Research University,*

*Ermolovich Oleg Vyacheslavovich, director, [oleg.ermolovich@mail.ru](mailto:oleg.ermolovich@mail.ru), Russia, Belgorod, LLC "Karina Trading House"*

#### Reference

1. Komarov E.I., Fursov E.G., Komarov K.E. Organization of laying works with bored piles-racks at the underground chamber system of development // Surveying and sub-soil use. 2014. No.3(71). From 67-70.
2. Komashchenko V.I., Vasiliev P.V., Maslennikov S.A. Technologies of underground mining of KMA deposits – a reliable raw material basis // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2016. No. 2. pp. 101-114.
3. Formwork for the construction of an artificial whole: pat. SU 635261. IPC E21F 15/00. Publ. 30.11.1978.
4. Method of hardening the surfaces of hydraulic massifs: pat. 2395797 RF. IPC E21F 15/00: publ. 27.07.2010. Byul. No. 21.
5. The method of erecting artificial supports in the developed chamber space: pat. 2521269 RF. IPC E21F 15/02: publ. 27.06.2014. Byul. No. 18.
6. Ermolovich E.A., Anikeev A.A., Ermolovich O.V. Strength and deformation properties of polymer composition for hardening of artificial massif // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2022. No. 2. pp. 269-276.
7. Increasing the stability of mine stopes by injection hardening of the near-contour mass / V. Melnik, P. Grechishkin, V. Gornostaev, V. Shcherbakov // XX Conference of PhD Students and Young Scientists: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 684 (2021) 012013. doi:10.1088/1755-1315/684/1/012013.
8. Ermolovich E.A., Anikeev A.A., Ermolovich O.V. Composition for strengthening of artificial massif // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2021. No. 3. pp. 269-276.
9. Resource-reproducing waste-free geotechnology of complex development of deposits of the Kursk magnetic anomaly / S. G. Lazerovich, I. I. Pomelnikov, V. V. Sidorchuk, V. K. Tomaev. M.: Mining Book, 2012. 547 p.