

УДК 622.02:531

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА С РЕЗИНОВЫМ ПОРОШКОМ В ЕГО СТРУКТУРЕ

О.В. Ермолович

*Предложены способы упрочнения твердеющего закладочного массива с резиновым порошком в его структуре, включающие размещение одновременно с твердеющей смесью в формируемом массиве резинового порошка (отход переработки изношенных шин) в количестве 1 % от массы твердеющей смеси (7 % от массы вяжущего) и одного из видов волокнистого материала – микрофибры базальтовой наномодифицированной (МБМ), или хризотилового асбеста в количестве 0,422 % от массы твердеющей смеси (3 % от массы вяжущего). При введении волокнистых материалов в композиции с резиновым порошком в структуре наблюдается компенсация потери прочности искусственного массива на сжатие. Прочность образцов увеличивается в среднем на 20 % при введении МБМ и на 24 % при добавлении хризотилового асбеста. Разработаны эффективные закладочные композиционные материалы с пределом прочности на сжатие 9,4...9,76 МПа.*

*Ключевые слова:* твердеющий закладочный массив, резиновый порошок, микрофибра базальтовая наномодифицированная, хризотилковый асбест.

Введение резиновой крошки в состав бетона, в том числе закладочных композиционных материалов, формирующих искусственный массив, существенно улучшает его физико-механические свойства.

Добавление частиц резины из покрышек придает пластичные свойства бетону и позволяет выдерживать деформации даже после достижения максимальной нагрузки [1], а ударная прочность (количество ударов на одном и том же месте до образования первой трещины) увеличивается в 14 раз [2].

Увеличение содержания резиновой крошки в бетоне повышает стойкость к истиранию, снижает водопоглощение и усадку. Улучшает замораживание и оттаивание. Прорезиненный бетон обладает хорошей устойчивостью к кислотным атакам. Он также имеет высокую устойчивость к проникновению хлорид-ионов, вызывающих коррозию арматуры [3].

Относительная деформация усадки образцов закладочного массива с увеличением содержания резинового порошка уменьшается на 43 %. Трещиностойкость массива увеличивается на 30 % при его содержании 6...8 %, до 33 % увеличивается прочность на растяжение при содержании порошка до 9 % от вяжущего [4 – 7].

Тем не менее, в большинстве исследований было установлено, что при добавлении резиновых заполнителей к обычной бетонной смеси снижается прочность бетона на сжатие, причем снижение увеличивается при увеличении содержания резиновой крошки [2 – 4, 8 – 12].

Было доказано, что добавление резиновых частиц существенно ухудшает указанное свойство бетона независимо от их размера или формы [13 – 14]. Прочность на сжатие прорезиненного бетона снизилось на 24,0 % при замене крошкой 10,0 % мелких заполнителей, и сокращение было больше, когда были заменены крупные заполнители [15 – 18].

Испытания 7 серий модели закладочного массива в каждой серии с содержанием от 0 до 10 % (от массы вяжущего вещества) резинового порошка также показали, что действительно при введении резинового порошка наблюдается тенденция потери прочности искусственного массива на сжатие. Незначительное уменьшение прочности до 7 % при содержании порошка до 7 % от вяжущего (1 % по массе) увеличивается до 40 % при содержании порошка 10 % [4].

В то же время известно, что увеличение пределов прочности закладочного массива при сжатии (15...21 %) достигается при размещении в нем соответственно 1...3 % от массы вяжущего микрофибры базальтовой модифицированной наночастицами фуллероидного типа (МБМ) [19]. Так же увеличение прочности массива при сжатии (25...30 %) наблюдается при введении в него 3...6 % от массы вяжущего асбеста хризотилового [20].

Целью исследования было изучение изменения прочностных свойств закладочного массива на основе отходов обогащения железистых кварцитов с резиновым порошком (средний размер частиц 225 мкм) из продуктов переработки отработанных шин в составе при размещении в формируемом массиве армирующих элементов одновременно с твердеющей смесью упомянутых волокнистых материалов, разработке на их основе композиционных материалов и способов упрочнения массива.

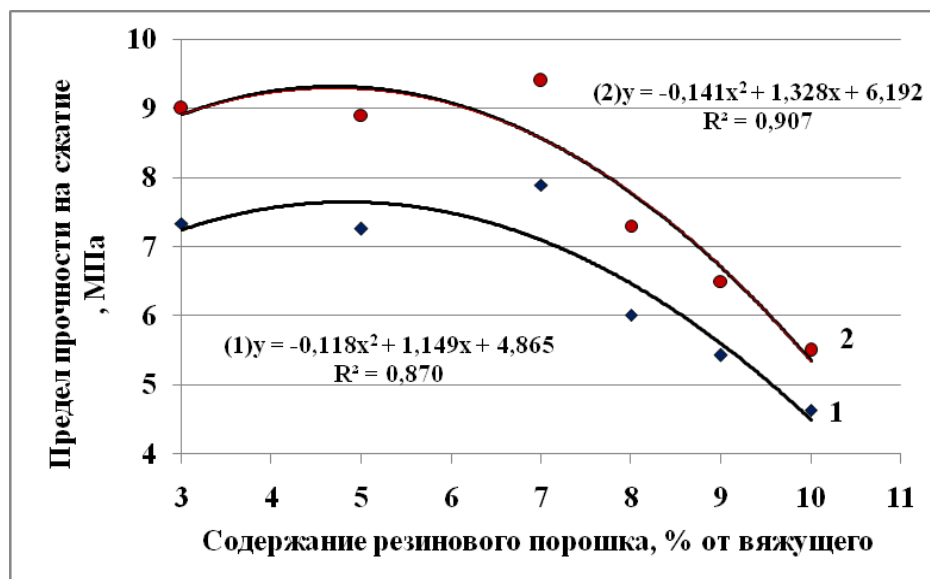
Для эксперимента была выбрана трехпроцентная концентрация волокон хризотилового асбеста и МБМ от массы вяжущего (или 0,422 % от всей массы), которая по ранее проведенным исследованиям является оптимальной с точки зрения прочностных, реологических и деформационных свойств закладочного материала [19 – 20].

При проведении экспериментов были изготовлены по 6 серий модели искусственного массива с содержанием от 3 % до 10 % (от массы вяжущего вещества) резинового порошка с добавлением волокнистых материалов обоих типов.

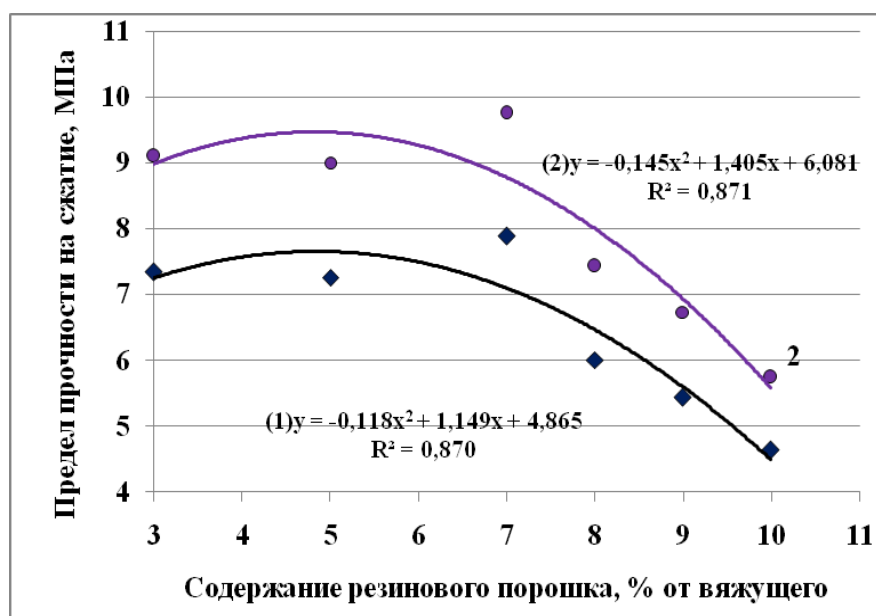
Прочность образцов на сжатие в возрасте 90 суток определялась с использованием электронной испытательной машины Инстрон 5882.

Графики установленных на основе регрессионных математических моделей закономерностей изменения прочности от содержания резинового порошка приведены на рис. 1, 2. Каждая точка на графиках данных и последующих зависимостей получена как среднее из 3 – 6 измерений. Исследования показали, что изменения прочностных характеристик от содержания резинового порошка с добавлением волокнистых материалов (рис. 1,

2) хорошо аппроксимируются полиномиальными функциями второго порядка с коэффициентами детерминации  $R^2 = 0,87$  и  $R^2 = 0,91$  для микрофибры базальтовой модифицированной и хризотилового асбеста соответственно.



**Рис. 1. График зависимости изменений предела прочности закладочного массива на сжатие от содержания резинового порошка: 1 – без добавления МБМ; 2 – с добавлением 3 % МБМ от массы вяжущего**



**Рис. 2. График зависимости изменений предела прочности закладочного массива на сжатие от содержания резинового порошка: 1 – без добавления хризотилового асбеста; 2 – с добавлением 3 % хризотилового асбеста от массы вяжущего**

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что действительно при введении 3 % волокнистых материалов в композиции с резиновым порошком в структуре наблюдается компенсация потери прочности искусственного массива на сжатие. Прочность образцов увеличивается в среднем на 20 % при введении МБМ и на 24 % при добавлении хризотилового асбеста.

На основе выполненных исследований разработаны композиционные материалы для закладки выработанного пространства, которые приведены в таблице.

### Экспериментальные данные

№ серии	Расход компонентов при изготовлении закладочных композиционных материалов, (масс. %)/% от вяжущего					Предел прочности при сжатии, МПа
	Цемент ЦЕМ II 32,5АШ вода	Отходы обогащения мокрой магнитной сепарации	Резиновый порошок	Полипласт СП-1	Асбест МБМ	
Контрольная 1	14	$\frac{62,15}{23,7}$	0,00	0,15	0,00	7,91
Контрольная 2	14	$\frac{61,15}{23,7}$	1/7	0,15	0,00	7,89
С асбестом	14	$\frac{60,728}{23,7}$	1/7	0,15	$\frac{0,422/3}{0,00}$	9,76
С МБМ	14	$\frac{60,728}{23,7}$	1/7	0,15	$\frac{0,00}{0,422/3}$	9,4

Способы упрочнения закладочного массива с резиновым порошком в его структуре заключаются в следующем: одновременно с твердеющей смесью в формируемом массиве размещают резиновый порошок (отход переработки изношенных шин) в количестве 1 % от массы твердеющей смеси (7 % от массы вяжущего) и один из видов волокнистого материала – микрофибру базальтовую модифицированную, или хризотилковый асбест в количестве 0,422 % от массы твердеющей смеси (3 % от массы вяжущего).

Это будет способствовать повышению массивом несущей способности, исключая опасные динамические проявления в выработках и опасные деформации на подработанных территориях.

## Список литературы

1. Chauhan M., Sood H. Rubber modified concrete- a green approach for sustainable infrastructural development // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2017. Vol. 4(6). P. 973-978.  
<https://www.irjet.net/volume4-issue6>.
2. Gupta T., Sharma R. K., Chaudhary S. Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume // International Journal of Impact Engineering. 2015. Vol. 83. P.76–87.
3. Hesham M. Fawzy, Suzan A. A. Mustafa, Fady A. Elshazly Rubberized concrete properties and its structural engineering applications – An overview // The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology. 2020. Vol. 30. P.1–11.
4. Ермолович Е.А., Качурин Н.М., Ермолович О.В. Управление состоянием закладочного массива посредством применения продуктов переработки отработанных покрышек // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 126-135.
5. Способ упрочнения закладочного массива: пат. РФ 2555996. Е21F 15/08. Бюл. № 19.
6. Закладочный композиционный материал: пат. РФ 2568657, Е21 F 15/00, С04 В 28/04, С04 В 111/20; опубли. 20.11.2015. Бюл. № 32.
7. Ермолович О.В. Исследование трещиностойкости закладочных композитов // Сб. науч. тр. 9 «Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Минск, 2013. Т. 2. С. 459-461.
8. Khatib Z.K., Bayomy F.M. Rubberized Portland cement concrete // ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 1999. Vol. 11. P. 206-213. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206).
9. Eldin N.N., Senouci A.B. Rubber-tire particles as concrete aggregates // ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 5. P. 478-496. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(1993)5:4(478).
10. Topçu I.B. The properties of rubberized concrete // Cement and Concrete Research. 1995. Vol. 25. P. 304-310. doi:10.1016/0008-846(95)00014-3.
11. Ho A.C., Turatsinze A., Hameed R., Vu D.C. Effects of rubber aggregates from grinded used tyres on the concrete resistance to cracking // Journal of Cleaner Production. 2012. Vol. 23. P. 209-215. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.016
12. Khaloo A.R., Dehestani M., Rahmatabadi P. Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles // Waste Management. 2008. Vol. 28. P. 2472-2482. doi: 10.1016/j.wasman.2008.01.015.

13. Properties and sustainability of treated crumb rubber concrete / R. Assaggaf [and others] // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 51. 104250. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104250>.

14. Experimental Analysis and Evaluation of the Compressive Strength of Rubberized Concrete During Freeze–Thaw Cycles / S. Sun [et al.] // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2023. 17, 28. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00592-6>.

15. Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers / M. Gesoğlu, E. Gъneyisi, G. Khoshnaw, S. Ipek // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. P. 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.046>.

16. Jafari K., Toufigh V. Experimental and analytical evaluation of rubberized polymer concrete // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 155, P. 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.097>.

17. Rahman M., Al-Ghalib A., Mohammad F. Anti-vibration characteristics of rubberised reinforced concrete beams // Materials and Structures. 2013. Vol. 47(11). P. 1807–1815. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0151-0>

18. Effects of crumb rubber aggregate on the static and fatigue performance of reinforced concrete slabs / J. H. Xie [et al.] // Composite Structures. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111371>.

19. Ермолович Е.А., Кирилов А.Н., Ермолович О.В. Способ упрочнения твердеющего закладочного массива на основе применения нанотехнологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2015. № 8. С. 21-24.

20. Ермолович Е.А., Кирилов А.Н., Ермолович О.В. Направленные изменения свойств твердеющего закладочного массива посредством применения природного волокнистого материала // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2015. № 2. С. 5-9.

*Ермолович Олег Вячеславович, асп., [oleg.ermolovich@mail.ru](mailto:oleg.ermolovich@mail.ru), Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

#### **METHODS FOR INCREASING THE STRENGTH OF THE HARDENING FILLING MASS WITH RUBBER POWDER IN ITS STRUCTURE**

*O.V. Ermolovich*

*Methods for strengthening the hardening filling mass with rubber powder in its structure are proposed. These ones comprise placement in the formed mass of the rubber powder (from recycled tires) in an amount of 1 % by weight of the hardening mixture (7 % by weight of the binder) and one of the fibrous material types – nanomodified basalt microfiber (MBM), or chrysotile asbestos in an amount of 0.422 % by weight of the hardening mixture (3% by weight of the binder) with the hardening filling mixture simultaneously. When fibrous materials are introduced into compositions with rubber powder in the structure, compensation for the loss of compressive strength of the artificial mass is observed. The strength of samples increases by an average of 20 % with the introduction of MBM and by 24% with the*

*addition of chrysotile asbestos. Effective filling composite materials with a compressive strength of 9.4...9.76 MPa are developed.*

*Key words: hardening filling mass, rubber powder, compressive strength, chrysotile asbestos, nanomodified basalt microfibre (MBM).*

*Ermolovich Oleg Vjacheslavovich, postgraduate, [oleg.ermolovich@mail.ru](mailto:oleg.ermolovich@mail.ru), Russia, Belgorod, Belgorod National Research University*

#### Reference

1. Chauhan M., Sood H. Rubber modified concrete- a green approach for sustainable infrastructural development // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2017. Volume 4(6). P. 973-978. <https://www.irjet.net/volume4-issue6>.
2. Gupta T., Sharma R. K., Chaudhary S. Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume // International Journal of Impact Engineering. 2015. Volume 83. P.76–87.
3. Hesham M. Fawzy, Suzan A. A. Mustafa, Fady A. Elshazly Rubberized concrete properties and its structural engineering applications – An overview // The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology. 2020. Volume 30. P.1–11.
4. Ermolovich E.A., Kachurin N.M., Ermolovich O.V. Management of the condition of the laying array through the use of waste tire recycling products // Proceedings of the Tula State University. Earth sciences. 2016. Issue 3. pp. 126-135.
5. Method of hardening of the laying array: pat. RF 2555996. E21F 15/08. Byul. No. 19.
6. Laying composite material: pat. RF 2568657, E21 F 15/00, C04 B 28/04, C04 B 111/20; publ. 20.11.2015. Byul. No. 32.
7. Ermolovich O.V. Investigation of crack resistance of laying composites // Collection of scientific tr. 9 International conference on problems of mining industry, construction and energy "Socio-economic and environmental problems of mining industry, construction and energy". Minsk, 2013. Vol. 2. pp. 459-461.
8. Khatib Z.K., Bayomy F.M. Rubberized Portland cement concrete // ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 1999. Volume 11. P. 206-213. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206).
9. Eldin N.N., Senouci A.B. Rubber-tire particles as concrete aggregates // ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. Volume 5. P. 478-496. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(1993)5:4(478).
10. Topçu I.B. The properties of rubberized concrete // Cement and Concrete Research. 1995. Volume 25. P. 304-310. doi:10.1016/0008-846(95)00014-3.
11. Ho A.C., Turatsinze A., Hameed R., Vu D.C. Effects of rubber aggregates from grinded used tyres on the concrete resistance to cracking // Journal of Cleaner Production. 2012. Volume 23. P. 209-215. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.016
12. Khaloo A.R., Dehestani M., Rahmatabadi P. Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles // Waste Management. 2008. Volume 28. P. 2472-2482. doi: 10.1016/j.wasman.2008.01.015.
13. Properties and sustainability of treated crumb rubber concrete / R. Assaggaf [and others] // Journal of Building Engineering. 2022. Volume 51.104250. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104250>.
14. Experimental Analysis and Evaluation of the Compressive Strength of Rubberized Concrete During Freeze–Thaw Cycles / S. Sun [et al.] // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2023. 17, 28. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00592-6>.

15. Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers / M. Gesoğlu, E. Gineyisi, G. Khoshnaw, S. Ipek // *Struction and Building Materials*. 2014. Volume 63. P. 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.046>.
16. Jafari K., Toufigh V. Experimental and analytical evaluation of rubberized polymer concrete // *Construction and Building Materials*. 2017. Volume 155, P. 495-510. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.097>.
17. Rahman M., Al-Ghalib A., Mohammad F. Anti-vibration characteristics of rubberised reinforced concrete beams // *Materials and Structures*. 2013. Volume . 47(11). P.1807–1815. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0151-0>
18. Effects of crumb rubber aggregate on the static and fatigue performance of reinforced concrete slabs / J. H. Xie [et al.] // *Composite Structures*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111371>.
19. Ermolovich E.A., Kirilov A.N., Ermolovich O.V. Method of hardening of a hardening laying array based on the use of nanotechnologies // *Mining information and analytical Bulletin*. Moscow: MGU. 2015. No. 8. pp. 21-24.
20. Ermolovich E.A., Kirilov A.N., Ermolovich O.V. Directional changes in the properties of the hardening laying array through the use of natural fibrous material // *Mining information and Analytical Bulletin*. Moscow: MGU. 2015. No. 2. pp. 5-9.

УДК 622.831.322

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ  
КАЧЕСТВА ПОРОДЫ RQD ДЛЯ ПРОГНОЗА  
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ  
ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК НА РУДНИКЕ  
«ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»**

Н.Е. Мороз, С.Г. Гендлер, А.А. Вьюников, Е.Е. Разумов

*Проведение горных выработок во вмещающих породах кимберлитовой трубки «Интернациональная» взрывным способом на глубоких горизонтах сопровождается вторичным газодинамическим разрушением массива пород. Для повышения эффективности прогнозной оценки расположения опасных участков по газодинамическим проявлениям рассмотрен геомеханический показатель качества породы RQD, определяемый по керновому материалу.*

*Ключевые слова: газодинамические явления, выбросы породы и газа, трещиноватость горных пород, RQD.*

**Введение.** Геомеханические риски при освоении подземного пространства зачастую связаны, с действием горного давления [1 – 5]. Согласно действующим Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» на территории России ведется разработка 52 месторождений в условиях горных пород склонных к хрупкому разрушению и опасных по горным ударам. Заблаговременная