

УДК 622.02:531

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО СОСТАВА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО МАССИВА

Е.А. Ермолович, А.А. Анিকেев, О.В. Ермолович

Обосновано применение полимерного состава для упрочнения искусственного массива на стадии его формирования. Полимерный состав включает карбамидную смолу и изо-метилтетрагидрофталевый ангидрид. Определены физические характеристики полимерной композиции. Приведены изменения прочности и относительной деформации усадки образцов от концентрации отвердителя. Установлены на основе регрессионных моделей зависимости с достоверностью аппроксимации 0,90...0,97. Анализ полученных данных показывает, что максимальная прочность полимерного состава достигается при концентрации отвердителя 4,6...8,7 %. Минимальные значения относительной деформации усадки соответствуют концентрации отвердителя 16,1-22,3 %.

Ключевые слова: искусственный массив, полимерный состав, прочностные свойства, деформация усадки, карбамидная смола.

Реализация эффективных методов упрочнения гидрозакладочных массивов позволяет добывать полезное ископаемое из междукамерных целиков и является одной из приоритетных задач рационального недропользования и охраны окружающей среды. При разработке рудных месторождений имеется опыт упрочнения искусственных массивов инъекционными методами [1].

Благодаря глубокой пенетрации нагнетаемых растворов, их существенным скрепляющим и прочностным свойствам после затвердевания инъецирование синтетических смол обеспечивает убедительную устойчивость массива, окружающего горные выработки. Например, в работе [2] показано, что полимерные растворы, представленные смесями карбамидных или пенополиуретановых смол с отвердителем, могут проникать в трещины с раскрытием до 0,01 мм. Адгезия полимерных композиций с горными породами выше сцепления с ними бетона (1,2...2,0 МПа) в 6...10 раз.

Инъекционные способы упрочнения искусственного массива осуществимы после его формирования, осушения и дозакладки, когда применение других вариантов невозможно. А оставление без упрочнения искусственных массивов на основе сгущенных отходов обогащения железистых кварцитов ограничивает отработку целиков, в которых по данным работы [3] остается до 60 % полезного ископаемого. Применение полимерных составов в этом случае эффективно, несмотря на высокую стоимость [4, 5] и является вынужденной мерой. Однако в этом случае извлечение в будущем

полезных компонентов, содержащихся в уложенных отходах обогащения, будет связано с определенными сложностями.

В то же время полимерные состав целесообразно использовать для упрочнения искусственных массивов на стадии их формирования в качестве несущих элементов.

Цель исследования – получение и накопление знаний о новых закономерностях изменения прочностных и деформационных свойств полимерных составов на основе карбамидной смолы и изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида (изо-МТГФА) для упрочнения искусственного массива на стадии его формирования.

В качестве крепителя в составе применялась смола марки КФ-МТ-15. Свойства крепителя и отвердителя приводятся в работе [5].

Для искусственных опор первостепенное значение имеет прочность материала, достигнутая к определенному сроку после их возведения, которая обеспечивает несущую способность элементов и безопасность производства горных работ в конкретных условиях. Прочность полимерных материалов зависит от концентрации компонентов в их составе [4,5].

Для проверки прочности искусственной опоры образцы готовили смешиванием карбамидной смолы 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 – 77,7...95,4 % и изо-МТГФА – 4,6...22,3 %. При приготовлении состава ангидрид добавляли к карбамидной смоле.

По истечении 30 суток, 60 и 120 суток на образцах размером 70X70X70 мм определялся предел прочности при сжатии на гидравлическом прессе ПГМ-1000МГ4.

Выполненные исследования показали, что изменения предела прочности при сжатии образцов полимерной композиции от концентрации отвердителя (изо-МТГФА) хорошо аппроксимируются экспоненциальными функциями с достоверностью $R^2=0,94$ и $R^2=0,95$ в возрасте 30 суток и 60 суток соответственно:

$$\sigma_{сж} = 57,736e^{-0,05C} ;$$

$$\sigma_{сж} = 85,296e^{-0,065C} ,$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности образцов при сжатии, %; C – концентрация изо-МТГФА в полимерном составе, %.

Графики изменения предела прочности при сжатии образцов полимерного состава от концентрации отвердителя в возрасте 30 и 60 суток приведены на рис. 1. Каждая точка на данных графиках и всех остальных получена, как среднее значение из измерений на трех образцах.

Изменения предела прочности при сжатии образцов полимерного состава от концентрации отвердителя (изо-МТГФА) в возрасте 120 суток

хорошо аппроксимируются полимерной функцией второго порядка с достоверностью $R^2=0,97$:

$$\sigma_{сжс} = -0,048C^2 - 1,599C - 88,29.$$

График изменения предела прочности при сжатии образцов полимерного состава от концентрации отвердителя в возрасте 120 суток приведен на рис. 2.

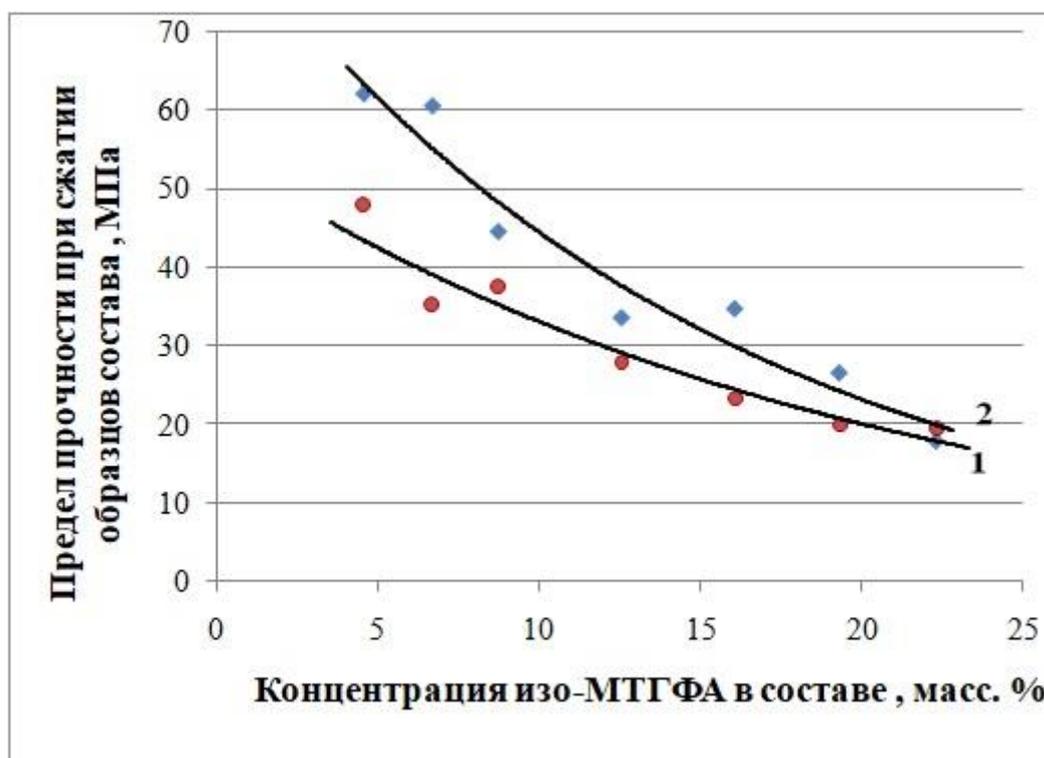


Рис. 1. Графики изменения предела прочности при сжатии образцов полимерного состава от концентрации изо-МТГФА: возраст образцов 1–30 суток; 2–60 суток

Образцы полимерного состава подвержены незначительной усадке. Относительные деформации усадки составляют от 1,5 до 9,6 % в зависимости от концентрации изо-МТГФА и срока твердения. Изменение относительной деформации усадки образцов от концентрации отвердителя (изо-МТГФА) хорошо аппроксимируются экспоненциальными функциями с достоверностью $R^2=0,91$ и $R^2=0,90$ в возрасте 60 и 120 суток соответственно:

$$\Delta = 19,052e^{-0,141C};$$

$$\Delta = 13,009e^{-0,087C},$$

где Δ – относительная деформация усадки образцов, %; C – концентрация изо-МТГФА в полимерном составе, %.

Графики изменения относительной деформации усадки образцов полимерного состава от концентрации отвердителя в возрасте 60 и 120 суток приведены на рис. 3.

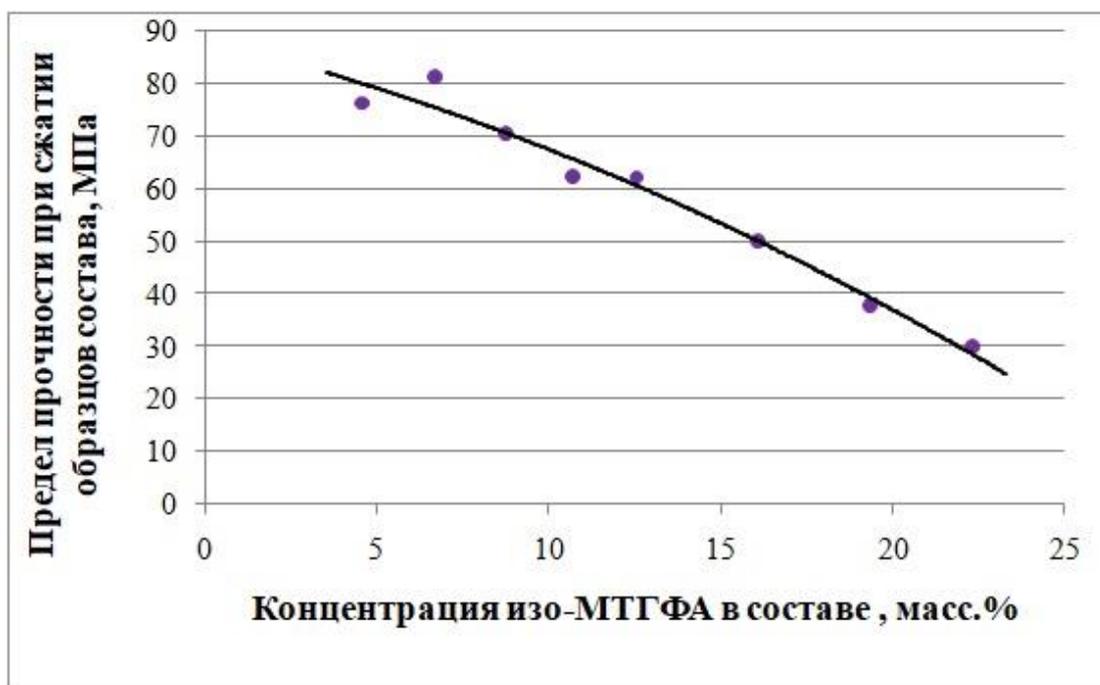


Рис. 3. Графики изменения предела прочности при сжатии образцов полимерного состава от концентрации изо-МТГФА в возрасте 120 суток

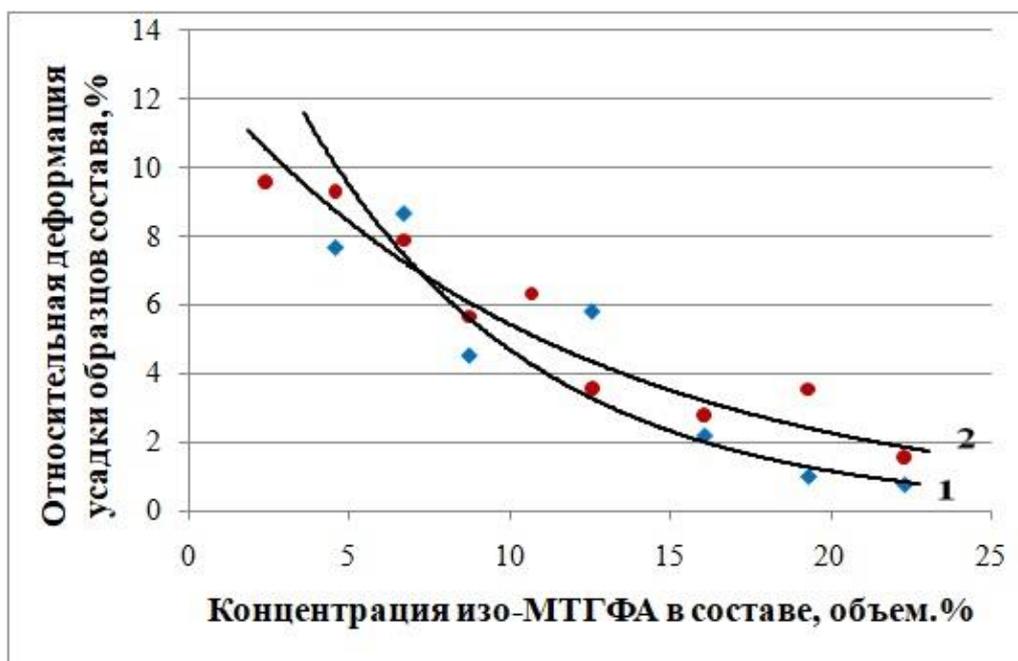


Рис. 3. График изменения относительной деформации образцов от концентрации изо-МТГФА: возраст образцов 1 – 60 суток; 2 – 120 суток

Анализ полученных результатов показывает, что прочность полимерного состава изменяется от 18 до 81 МПа в зависимости от концентрации отвердителя. Максимальные увеличения прочности состава при сжатии при 30...120 сутках твердения достигаются при концентрации изомТГФА 4,6...8,7 %, минимальные значения относительной деформации усадки соответствуют концентрации отвердителя 16,1...22,3 %.

Выявленные на основе регрессионных моделей зависимости позволяют прогнозировать изменение физических характеристик составов полимерной композиции под действием физических полей (механического и температурного) и разработать эффективные способы упрочнения искусственного массива на стадии его формирования.

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. Боровков Ю.А. Управление состоянием массива пород при подземной геотехнологии: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 240 с.

3. 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.

4. Ермолович Е.А., Донецкий С.В., Ермолович О.В. Направленные изменения свойств гидрозакладочного массива // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 3. С. 229-238.

5. 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.

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»

*STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITION
FOR STRENGTHENING OF ARTIFICIAL MASSIF*

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

The use of a polymer composition for strengthening an artificial massif at the stage of its formation is substantiated. The polymer composition includes urea resin and isomethyltetrahydrophthalic anhydride. The physical characteristics of the polymer composition are determined. The changes in the strength and the relative shrinkage deformation of the samples from the hardener concentration are given. The dependences are established on the basis of regression models with an approximation reliability of 0,90...0,95. The analysis of the obtained data shows that the maximum strength of the polymer composition is achieved at a hardener concentration of 4,6...8,7 %. The minimum values of the relative shrinkage deformation correspond to the hardener concentration of 16,1...22,3 %.

Key words: artificial massif, polymer composition, strength properties, shrinkage deformation, carbamide resin,

Ermolovich Elena Akhmedovna, doctor of technical sciences, 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 Vyacheslavovich, director, 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 with a sub-storey chamber system of development // Surveying and subsoil use. 2014. No.3(71). pp. 67-70.
2. Borovkov Yu.A. Management of the state of the rock mass in underground geotechnology: textbook. stipend. St. Petersburg: Lan. 2018. 240 p.
3. 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; edited by D. R. Kaplunov. M.: Mining Book, 2012. 547 p.
4. Ermolovich E.A., Donetskiy S.V., Ermolovich O.V. Directed changes in the properties of the hydro-laying array // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2018. No. 3. pp. 229-238.
5. Ermolovich E.A., Anikeev A.A., Ermolovich O.V. Composition for strengthening an artificial array // Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2021. No. 3. pp. 269-276.