

УДК 622.831.312:001.891.53

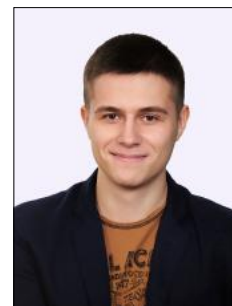
ОИ: 10.21209/2227-9245-2017-23-8-25-32

**ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ
МОДЕЛИРОВАНИИ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ
СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

**THE NATURE OF DEFORMATIONS DISTRIBUTION IN PHYSICAL SIMULATION
OF COAL-BEARING MASSIF IN THE NEIGHBORHOOD JUNCTION OF MINE
WORKINGS**

*В. В. Басов, Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк
vadimbasov@yahoo.com*

V. Basov, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk



Приведены результаты исследований характера деформирования материала на физических моделях, эквивалентных углепородному массиву. Представлена методика экспериментального исследования. По результатам испытания моделей из эквивалентного материала получены графики зависимости относительных деформаций от вертикальной удельной нагрузки. Проведена оценка результатов физического моделирования параметров НДС эквивалентного материала вокруг полостей имитирующих горные выработки

Ключевые слова: физическое моделирование; горные породы; относительные деформации; песчано-парафиновая смесь; вертикальная удельная нагрузка; эквивалентный материал; критерий подобия; стенд; модель; фиксация

The article presents the results of a material's deformation nature studies on physical models equivalent to a coal-bearing massif. The technique of experimental research is presented. Based on the results of testing models from an equivalent material, graphs of the relative deformations versus the vertical specific load are obtained. The results physical modeling parameters of the equivalent material around the cavities imitating the mine workings are estimated

Key words: physical simulation; sedimentary rocks; relative strain; sandy-paraffin compound; vertical strength; equivalent material; criterion of similitude; stand; model; fixation

Введение. Сопряжения горных выработок являются одним из сложных объектов на шахтах и рудниках. Однако методы оценки их устойчивости не всегда обеспечивают безопасное эксплуатационное состояние выработок, так как не полностью учитывается множество факторов: формы и размеры сопряжений выработок, строение залежи и свойства боковых пород [4; 5]. Поэтому задача выявления

закономерностей деформирования пород в окрестности сопряжений является актуальной.

На основе авторской методики (В. В. Басов, С. В. Риб, В. Н. Фрянов) в настоящей статье представлены результаты исследований закономерностей деформирования горных пород в окрестности сопряжений горных выработок на моделях из эквивалентного материала.

Метод физического моделирования позволяет сократить время и затраты, необходимые для выявления закономерностей деформирования сопряжений выработок. Особенностью моделирования НДС в окрестности сопряжений горных выработок является необходимость решения объемной задачи [3; 8], что подтверждается полученными результатами.

Целью работы является исследование характера распределения деформаций при физическом моделировании углепородного массива для выбора параметров крепи при проведении и поддержании сопряжений горных выработок.

В процессе исследования решены следующие задачи:

1) разработана программа и методика физического моделирования;

2) разработана и изготовлена конструкция стенда для физического моделирования, вмещающая слои эквивалентного материала, параметры которого определены на основе критерия подобия [7; 10];

3) изготовлены и отработаны три варианта физических моделей из эквивалентного материала:

а) модель № 1 – нетронутый массив горных пород;

б) модель № 2 – пройдена одиночная горная выработка;

в) модель № 3 – пройдено сопряжение горных выработок;

4) получены следующие параметры НДС эквивалентного материала: вертикальные напряжения, смещения в непосредственной кровле, почве и боках сопряжений горных выработок.

Методика экспериментального исследования. Методика моделирования принята на основании работ Б. П. Бадтиева, И. А. Сальвассера, С. В. Кузьмина, Ф. П. Глушихина, Г. Н. Кузнецова, М. Ф. Шклярского, В. Н. Павлова, М. С. Злотникова, К. А. Ардашева, Н. А. Филатова, М. А. Розенбаума и др. [1; 2; 6; 9]. Для определения характера деформирования эквивалентного материала на моделях

изготовлен стенд в виде цилиндра диаметром 190 мм, высотой 290 мм, из трубы НПВХ (рис. 1). Стенд разрезан на две равные части, которые фиксируются на лицевой стороне металлическими замками и на обратной – шарнирами для безопасного извлечения песчано-парафиновой модели.



Рис. 1. Стенд цилиндрической формы для эквивалентного материала

Fig. 1. Stand of cylindrical shape for equivalent material

Модели из песчано-парафиновой смеси изготовлены на основе результатов предварительных испытаний образцов при одноосном сжатии. Масштаб модели принят 1:100. Смесь укладывалась в стенд модели по слоям: почва, угольный пласт и кровля с высотой слоев $h=130, 20, 140$ мм соответственно. Для визуального отличия слоев в смесь добавлялся краситель на основе парафина. Испытания проводились через неделю после укладки смеси в каркас. Для эквивалентного материала приняты физико-механические свойства горных пород, представленные в таблице.

На рис. 2 представлены четыре варианта схем моделей для физического моделирования.

Полость в модели, имитирующая одиночную горную выработку, создана путем закладки деревянного бруска прямоугольного сечения с размерами 50x30 мм. Сопряжение создавалось тем же методом, только с добавлением двух коротких брусков.

Выработки расположены по угольному пласту с присечкой в кровле на 10 мм (1 м в натуре).

**Физико-механические свойства горных пород и эквивалентного материала/
Physical and mechanical properties of rocks and equivalent material**

Наименование породы/Name of the breed	Физико-механические свойства горных пород/ Physical and mechanical properties of rocks		Предел прочности при сжатии эквивалентного материала, МПа/ Compressive strength of equivalent material, MPa
	предел прочности при сжатии, МПа/ compressive strength, MPa	объемная масса пород, кг/м ³ / Bulk weight of rocks, kg / m ³	
Алевролит, кровля-почва/ Aleurolite, roof-soil	40	2500	0,24
Уголь, пласт/ Coal, layer	8,2	1200	0,10

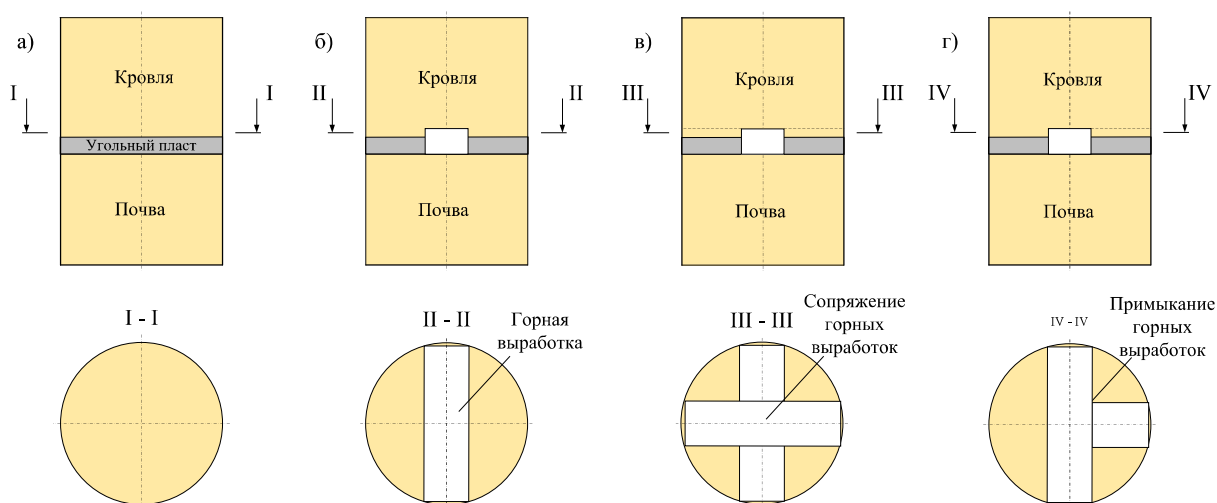


Рис. 2. Схемы моделей для физического моделирования: а – модель № 1 нетронутый массив горных пород; б – модель № 2 одиночная горная выработка; в – модель № 3 сопряжение горных выработок; г – модель № 4 примыкание горных выработок

Fig. 2. Schemes of models for physical simulation: a – model no. 1 tight rock massif; b – model no. 2 mine workings; v – model no. 3 junction of mine workings; g – model no. 4 junction of mine workings

Готовая модель устанавливается в рабочее пространство станда для физического моделирования, представленного на рис. 3. Пресс лабораторный испытательный гидравлический П-5 оснащен торсионным силоизмерителем и аналоговым циферблатом. Предназначен для испытаний образцов при сжатии в соответствии с требованиями ГОСТ 10006, ГОСТ 8695, ГОСТ 1497, ГОСТ 11701, ГОСТ 25.502 и ГОСТ 25.503. Пресс оснащен двумя вертикальными колоннами, между которыми помещалась модель и зажималась вручную при помощи центрального винта за счет перемещения подвижной траверсы.



Рис. 3. Общий вид прессы П-5/
Fig. 3. General view of the press P-5

Для измерения деформаций на лицевую сторону укреплены марки, а на верхнюю плиту пресса установлен индикатор часового типа ИЧ-10 кл.0 ГОСТ 577-68, магнитная индикаторная стойка типа МВ/31F бренда «GROZ» фиксируется на нижней плите пресса (рис. 4).

До начала испытаний модели на неподвижные детали используемого стенда (пресса) закреплены металлические линейки с опорными марками, которые остаются неподвижными в процессе испытания и предназначены для определения смещений марок на модели.

Далее проводится поэтапное нагружение трех моделей (рис. 5–7).

Фиксация каждого этапа нагружения осуществляется в три стадии:

- 1) фотофиксация с помощью зеркального фотоаппарата типа Sony Alpha SLT-A58 Kit 18-55;
- 2) запись в журнал наблюдений показаний прилагаемой нагрузки по манометру пресса;
- 3) запись в журнал наблюдений показаний индикатора часового типа для определения деформаций.

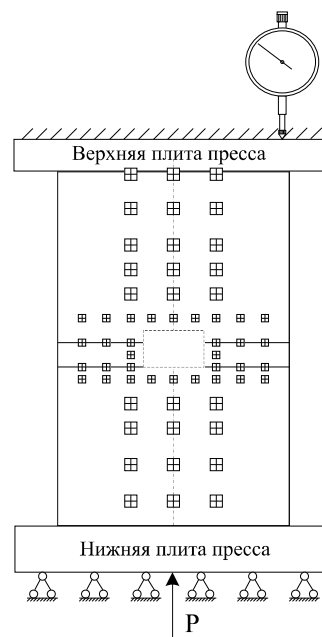


Рис. 4. Схема физической модели и расположения марок

Fig. 4. Scheme of the physical model and location of stamps

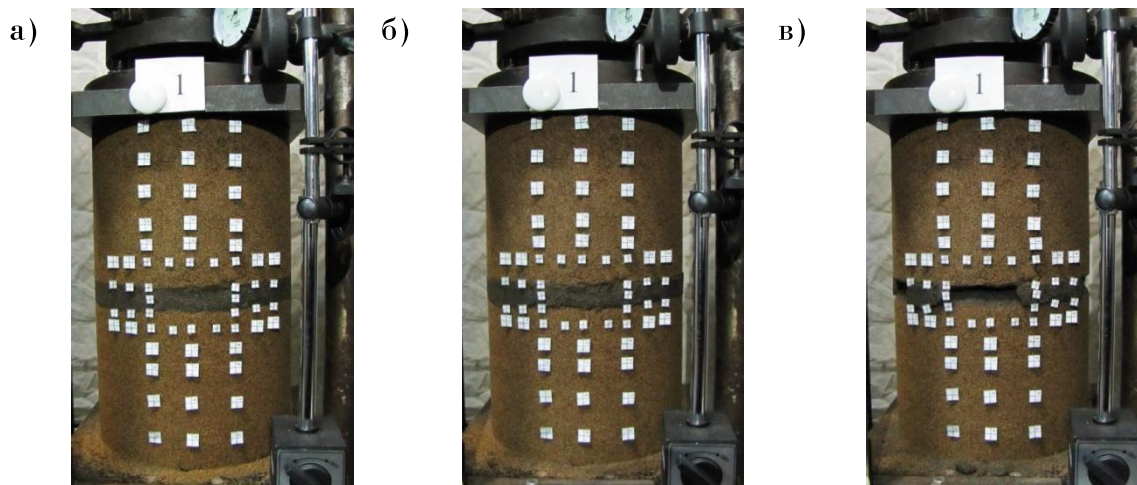


Рис. 5. Схема испытания модели 1 при сжатии: а – исходное состояние эквивалентного материала; б – выдавливание и разрушение материала эквивалентного угольному пласту; в – запредельное состояние эквивалентного материала

Fig. 5. Scheme of testing model no. 1 under compression: a – initial state of the equivalent material; b – extrusion and destruction of material equivalent to coal seam; c – transcendent state of the equivalent material

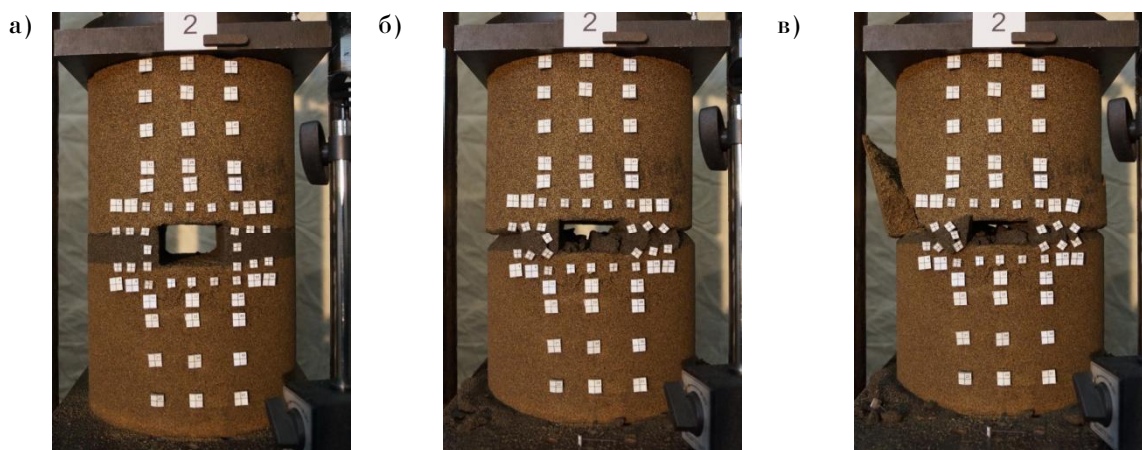


Рис. 6. Схема испытания модели 2 при сжатии: а – исходное состояние эквивалентного материала; б – выдавливание материала эквивалентного угольному пласту и разрушение бортов выработки; в – запредельное состояние эквивалентного материала/

Fig. 6. Scheme of testing model no. 2 under compression: a – initial state of the equivalent material; b – extrusion of material equivalent to coal seam and destruction of the mine workings' sides; c – transcendental state of the equivalent material

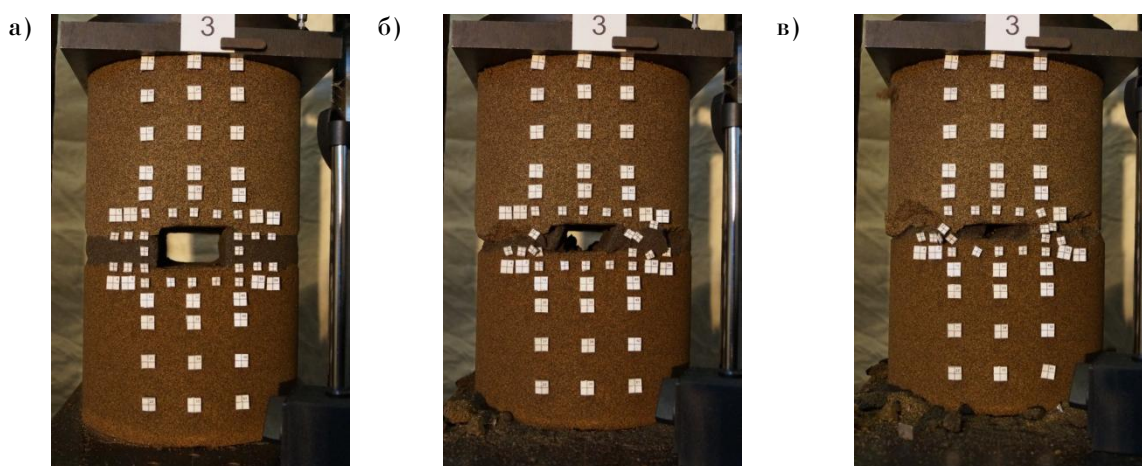


Рис. 7. Схема испытания модели 3 при сжатии: а – исходное состояние эквивалентного материала; б – выдавливание материала эквивалентного угольному пласту и разрушение бортов выработки; в – запредельное состояние эквивалентного материала

Fig. 7. Scheme of testing model no. 2 under compression: a – initial state of the equivalent material; b – extrusion of material equivalent to coal seam and destruction of the mine workings' sides; c – transcendental state of the equivalent material

После проведения опыта данные фотофиксаций обрабатываются по следующей методике. В компьютерной программе AutoCAD изображение каждой фотографии переводится в масштаб относительно установленной неподвижной линейки (рис. 8). Совместив начало координат с опорной

маркой на неподвижной линейке, следует измерять координаты закрепленных марок на модели, по разности этих координат определяются смещения и строятся графики относительных деформаций от предела прочности и давления на модель.

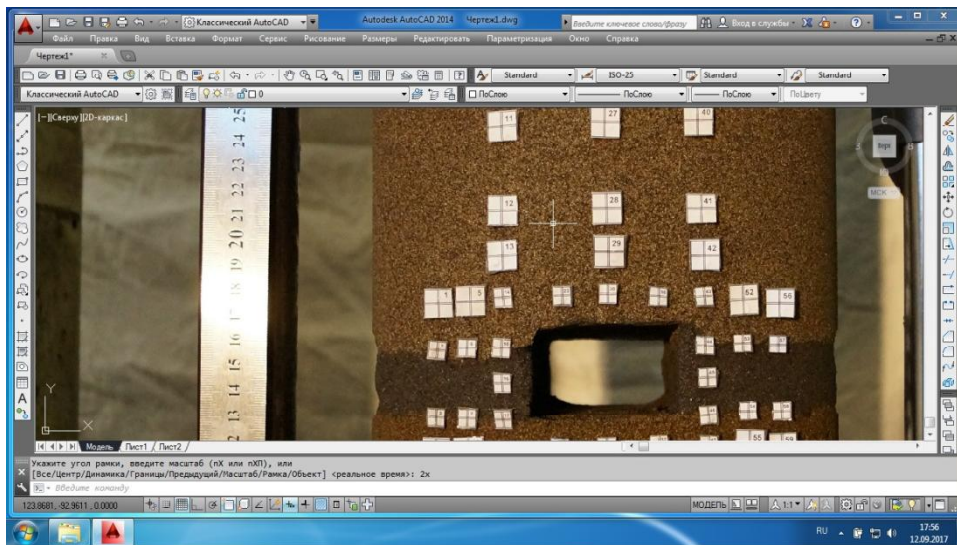


Рис. 8. Окно программы AutoCAD/
Fig. 8. AutoCAD program window

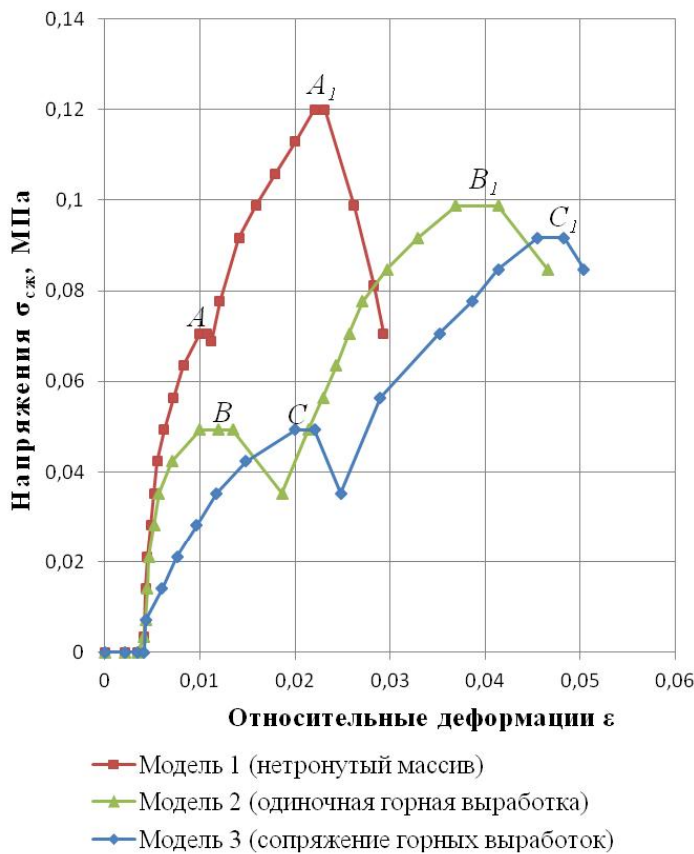


Рис. 9. Графики напряжения-относительные деформации эквивалентного материала физических моделей

Fig. 9. Stress-relative strain diagrams of the equivalent material of physical models

Результаты исследования.

На рис. 9 представлены графики зависимостей относительных деформаций эквивалентного материала от вертикальной удельной нагрузки, построенные в соответствии с рекомендациями [11].

Выводы. 1. Метод физического моделирования позволяет сократить время и затраты, необходимые для выявления закономерностей деформирования сопряжений выработок в шахтных условиях.

2. Установлено, что при наличии в неоднородной модели слоя, соответствующего по прочности угольному пласту, прочность которого в 3...5 раз меньше прочности вмещающих пород, при увеличении вертикального давления в модели выделяется два этапа деформирования. На первом этапе происходит деформация угольного пласта модели I в точке A и модели 2...3, ослабленного выработками в точках B и C, на втором этапе происходит деформация вплоть до разрушения вмещающих пород (точки A₁, B₁, C₁).

3. Полученные результаты деформации материала, эквивалентные углепорodному массиву, предполагается использовать в качестве исходных данных при тестировании результатов физического и численного моделирования, а также при разработке паспортов крепления сопряжений горных выработок.

Список литературы

1. Бадтиев Б. П., Сальвассер И. А., Кузьмин С. В. Исследования на моделях из эквивалентных материалов эффективности способов борьбы с пучением путем изменения формы поперечного сечения выработок // *Маркшейдерский вестник*. 2015. № 4. С. 51–55.
2. Глушихин Ф. П., Кузнецов Г. Н., Шклярский М. Ф., Павлов В. Н., Злотников М. С. Моделирование в геомеханике М.: Недра, 1991. 240 с.
3. Ермаков А. Ю., Васильев П. В. Методика расчета параметров крепления горных выработок большого сечения // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015. № 10. С. 14–22.
4. Ермаков А. Ю., Васильев П. В., Фрянов В. Н., Сенкус В. В. Технология проведения и поддержания горных выработок большого сечения угольных шахт. Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2015. 135 с.
5. Жуков Е. М., Лугинин И. А., Кротов Ю. И., Зырянов К. А., Басов В. В. Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт // *Вестник СибГИУ*. 2015. № 4 (14). С. 26–30.
6. Кузнецов Г. Н., Ардашев К. А., Филатов Н. А. Методы и средства решения задач горной механики. М.: Недра, 1987. 248 с.
7. Кузнецов Г. Н., Будько М. Н., Васильев Ю. И., Шклярский М. Ф., Юревич Г. Г. Моделирование проявлений горного давления. Л.: Недра, 1968. 279 с.
8. Павлова Л. Д., Петрова Т. В., Фрянов В. Н. Геомеханическое состояние углепорodного массива в окрестности сопряжений горных выработок: Монография. СибГИУ. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2002. 202 с.
9. Розенбаум М. А., Кузьмин С. В., Антонюк С. А., До Куанг Туан. Моделирование геомеханических процессов на моделях из эквивалентных материалов // *Журнал горной промышленности*. Вьетнам. 2015. № 1. С. 53–56.
8. Ke Yang, Guangxiang Xie. An asymmetrical bolt supporting design of retreating coal roadway based on physical simulation in large dip coal seam/ *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 2012, vol. 36, no. 3, pp. 453–461.
11. Tsvetkov A. B., Pavlova L. D., Fryanov V. N. Construction of the approximant of complete diagram for rock deformation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 45, pp. 1–7.

References

1. Badiyev B. P., Salvasser I. A., Kuzmin S. V. *Marksheyderskiy vestnik* (Surveying bulletin), 2015, no. 4, pp. 51–55.
2. Glushihin F. P., Kuznetsov G. N., Shklyarsky M. F., Pavlov V. N., Zlotnikov M. S. *Modelirovanie v geomehanike* [Simulation in geomechanics]. Moscow: Nedra, 1991. 240 p.
3. Ermakov A. Yu., Vasilev P. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining Information and Analytical Bulletin), 2015, no. 10, pp. 14–22.
4. Ermakov A. Yu., Vasilev P. V., Fryanov V. N., Senkus V. V. *Tehnologiya provedeniya i podderzhaniya gornyh vyrobotok bolshogo secheniya ugolnykh shaht* [Technology of conducting and maintaining mining workings of a large size of coal mines]. Novokuznetsk. 2015. 135 p.
5. Zhukov E. M., Luginin I. A., Kropotov Yu. I., Zyryanov K. A., Basov V. V. *Vestnik SibGIU* (Bulletin of SibSIU), 2015, no. 4 (14), pp. 26–30.
6. Kuznetsov G. N., Ardashev K. A., Filatov H. A. *Metody i sredstva resheniya zadach gornoy mehaniki* [Methods and means of solving the problems of mining mechanics]. Moscow: Nedra, 1987. 248 p.
7. Kuznetsov G. N., Budko M. N., Vasilev Yu. I., Shklyarsky M. F., Yurevich G. G. *Modelirovanie proyavleniy gornogo davleniya* [Modeling the manifestations of rock pressure]. Leningrad: Nedra, 1968. 279 p.
8. Pavlova L. D., Petrova T. V., Fryanov V. N. *Geomechanicheskoe sostojanie ugleporodnogo massiva v okrestnosti sopryazheniy gornyh vyrobotok* [The geomechanical state of the rock massif in the vicinity of the interfaces of the mine workings]. Novokuznetsk. 2002. 202 p.

9. Rozenbaum M. A., Kuzmin S. V., Antonyuk S. A., Do Quang Tuan. *Zhurnal gornoj promyshlennosti* (Journal of Mining), 2015, no. 1, pp. 53–56.

10. Ke Yang, Guangxiang Xie. *AGH Journal of Mining and Geoengineering* (AGH Journal of Mining and Geoengineering), 2012, vol. 36, no. 3, pp. 453–461.

11. Tsvetkov A. B., Pavlova L. D., Fryanov V. N. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science), 2016, vol. 45, pp. 1–7.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Басов Вадим Викторович, аспирант, кафедра «Геотехнология», Сибирский государственный университет, г. Новокузнецк, Россия. Область научных интересов: геомеханика, разработка пластовых месторождений, крепление горных выработок
vadimbасov@yahoo.com

Vadim Basov, postgraduate, Geotechnology department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Sphere of scientific interests: geomechanics, working of reservoir deposits, walling

Образец цитирования

Басов В. В. Характер распределения деформаций при физическом моделировании угленосного массива в окрестности сопряжений горных выработок // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 8. С. 25–32. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-8-25-32.

Basov V. The nature of deformations distribution in physical simulation of coal-bearing massif in the neighborhood junction of mine workings // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 8, pp. 25–32. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-8-25-32.

Дата поступления статьи: 14.08.2017 г.
Дата опубликования статьи: 31.08.2017 г.

