

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Тульский государственный университет»

16+
ISSN 2218-5194

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Выпуск 2

**Тула
Издательство ТулГУ
2017**

УДК 55
ББК 26
НЗ4

НЗ4 Известия Тульского государственного университета. **Науки о Земле.**
Вып. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. 198 с.

В сборнике опубликованы работы по экологии, промышленной безопасности, геомеханике, разрушению горных пород, рудничной аэрогазодинамике, горной теплофизике, геотехнологии (подземной, открытой и строительной), горным машинам, экономике и организации горного производства. В целом исследования посвящены решению проблем комплексного освоения недр при добыче и переработке твердых полезных ископаемых, освоения подземного пространства мегаполисов и устойчивого развития горнодобывающих регионов.

Материалы предназначены для научных работников, преподавателей вузов, инженерно-технических работников, аспирантов и студентов, специализирующихся в области наук о Земле.

Редакционный совет

М.В. ГРЯЗЕВ – председатель, **В.Д. КУХАРЬ** – зам. председателя, **В.В.ПРЕЙС** – главный редактор, **А.А. МАЛИКОВ** – отв. секретарь, **И.А. БАТАНИНА, О.И. БОРИСКИН, О.Н. ПОНАМОРЕВА, Н.М. КАЧУРИН, М.А. БЕРЕСТНЕВ, В.Н. ЕГОРОВ, В.М. ПЕТРОВИЧЕВ**

Редакционная коллегия

Н.М. Качурин (отв. редактор), В.И. Сарычев (зам. отв. редактора), В.И. Голик, В.И. Ефимов, А.Б. Жабин, Кавала Рудольф, О.И. Казанин, В.И. Комащенко, Г.И. Коршунов, В.В. Мельник, В.С. Моркун, О.С. Савищева, В.П. Сафронов, Г.В. Стась (отв. секретарь)

Подписной индекс 41408
по Объединенному каталогу «Пресса России»

Сборник зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Тульской области, рег. ПИ № ТУ71-00341 от 25 ноября 2013 г.

«Известия Тульского государственного университета» входят в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Сборник зарегистрирован в системе «Web of Science».

© Авторы научных статей, 2017
© Издательство ТулГУ, 2017

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.023:001.891.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В.В. Басов, С.В. Риб, В.Н. Фрянов

Приведены результаты исследований характера деформирования эквивалентного материала. Представлена программа исследований. По результатам исследований получены диаграммы «напряжения-деформации» при испытании образцов из эквивалентного материала. Установлены эмпирические зависимости вертикальных напряжений от относительных деформаций. Определен модуль деформации эквивалентного материала при различных соотношениях его компонентов.

Ключевые слова: горные породы, физическое моделирование, песчано-парафиновая смесь, предел прочности при сжатии, относительные деформации, эквивалентный материал, модуль деформации, критерий подобия.

В настоящее время на угольных шахтах при высокой скорости продвижения очистных забоев сдерживающим фактором являются темпы проходки подготовительных выработок и их сопряжений. Одним из факторов, влияющих на скорость проведения выработок, являются простои забоев, связанные с обрушением пород кровли и боков выработки, разрушением угольных целиков [1-4]. В пределах выемочного участка комплексномеханизированного очистного забоя количество сопряжений подготовительных выработок достигает 40, более 80 % которых подвергаются влиянию очистных работ. В этой связи актуальным являются исследования, направленные на создание способов и средств повышения устойчивости пород в окрестности сопряжений горных выработок, в том числе большого поперечного сечения [5].

Для этого требуется выявление закономерностей и зависимостей деформирования горных пород в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий, что позволит на стадии разработки проект-

ной документации принять решения, обеспечивающие не только устойчивость пород, но и безопасные условия труда.

Наиболее эффективным источником получения достоверной информации о геомеханических процессах в углепородном массиве являются шахтные эксперименты. Однако их проведения связано с высокими материальными и трудовыми затратами, поэтому в практике научных исследований широко применяется математическое и физическое моделирование [6]. С использованием таких методов по результатам моделирования может быть решена задача оценки геомеханического состояния горных пород в окрестности сопряжений подготовительных выработок на всех стадиях их эксплуатации.

Для прогноза устойчивости пересечений и сопряжений подземных горных выработок в данной работе предложен методический подход включающий выполнение работ, сгруппированных в трех блоках (рис. 1):

- 1) блок формирования исходных данных.
- 2) блок эксперимента.
- 3) блок реализации результатов.

Отличительной особенностью предлагаемого методического подхода является тарировка входных параметров математической модели по результатам натурных измерений или физического моделирования.

В первый блок входит постановка задачи и конструирование вариантов схем сопряжений и пересечений горных выработок.

Во втором блоке предполагается проведение эксперимента, где осуществляется тестирование программы численного моделирования НДС в окрестности горных выработок сложной конфигурации с использованием результатов физического моделирования или натурального эксперимента.

Третий блок включает:

- численное моделирование НДС для альтернативных вариантов;
- ранжирование вариантов сопряжений и пересечений горных выработок по критерию максимальной устойчивости пород их окрестности;
- разработка паспортов креплений сопряжений;
- реализация паспортов и мониторинг геомеханического состояния выработок.

При реализации методического подхода одним из сложных этапов составляет получение достоверных данных о деформировании пород в окрестности сопряжений и пересечений на угольных шахтах [7]. Проведение эксперимента для всех вариантов схем сопряжений является трудоемким процессом, осуществить который на современных высокопроизводительных шахтах не представляется возможным.

В этой связи в качестве основного метода получения информации о процессах деформирования сопрягающихся выработок принято физическое моделирование, состоящее из трех этапов:

I этап – подбор эквивалентного материала для физического моделирования.

II этап – построение диаграмм «напряжения- деформации», с получением эмпирических зависимостей и модуля деформации эквивалентного материала при различных соотношениях песка и парафина в образцах.

III этап – изготовление модели и проведение физического моделирования для получения закономерностей деформирования горных пород в окрестности сопряжений горных выработок.

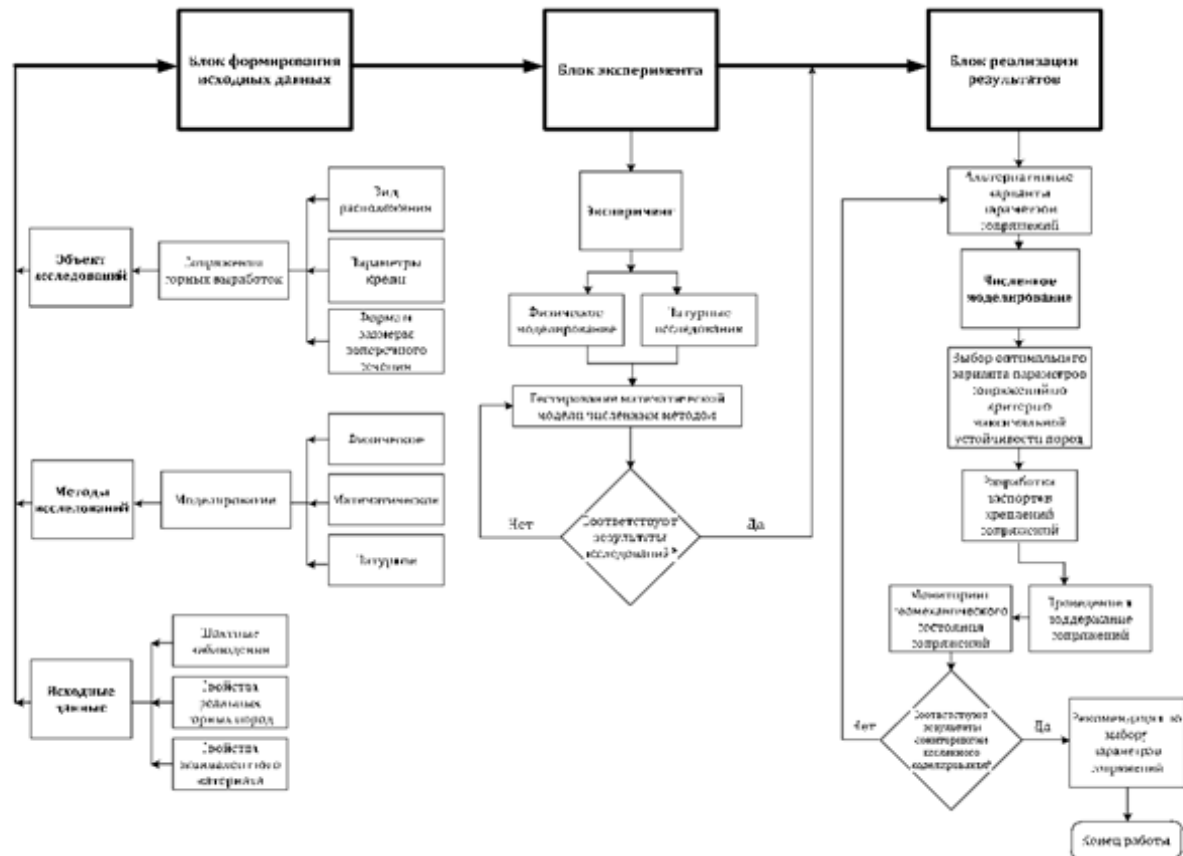


Рис. 1. Блок-схема методики обоснования параметров крепи сопряжений выработок при отработке пластов с неустойчивыми вмещающими породами

С учетом указанной актуальности в настоящей статье приведены результаты по первым двум этапам исследований.

Целью статьи является изучение характера деформирования эквивалентного материала для тестирования численной модели прогноза устойчивости сопряжений горных выработок.

Задачи исследования:

- 1) изготовить состав композитного материала, включающего в определенных пропорциях песок и парафин;
- 2) определить предел прочности при сжатии и модуль деформации эквивалентного материала;

3) установить аналитические зависимости напряжений и деформаций по экспериментальным диаграммам;

4) провести оценку полученных по результатам физического моделирования вертикальных напряжений и относительных деформаций образцов, и определить модуль деформации эквивалентного материала.

Для изучения характера изменения физико-механических свойств на эквивалентных материалах, необходимо обеспечить геометрическое и физическое подобие материалов и горных пород. Научные основы подбора эквивалентного материала и физического моделирования разработаны Г.Н. Кузнецовым [6, 8]. Поэтому основной задачей при проведении эксперимента является подбор материала эквивалентного горным породам.

Подбор эквивалентного материала осуществлялся для угля, аргиллита, алевролита, алевропесчаника и песчаника со следующими физико-механическими свойствами (табл. 1).

В соответствии с табл. 1 были рассчитаны прочностные характеристики эквивалентного материала для каждой породы по формулам (1) и (2), предложенным Г.Н. Кузнецовым [8].

Прочностные характеристики требуемого материала, эквивалентного горной породе, определялись из выражения

$$\sigma_{\text{м.с.}} = (R_c)_{\text{м}} = \frac{l}{L} \cdot \frac{\gamma_{\text{м}}}{\gamma_{\text{п}}} (R_c)_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{м.с.}} = (R_c)_{\text{м}}$ – предел прочности при сжатии эквивалентного материала, МПа; $(R_c)_{\text{п}}$ – предел прочности при сжатии натуральных образцов породы, МПа; l/L – линейный масштаб модели; $\gamma_{\text{м}}$ – объемная масса материала, кг/м³; $\gamma_{\text{п}}$ – объемная масса пород, кг/м³.

Таблица 1

Физико-механические свойства горных пород

Наименование породы	Физико-механические свойства горных пород	
	Предел прочности при сжатии, МПа	Объемная масса пород, кг/м ³
Песчаник	80	2600
Алевропесчаник	50	2100
Алевролит	40	2500
Аргиллит	30	1900
Уголь	8,2	1200

Объемная масса материала модели рассчитывалась по формуле

$$\gamma_{\text{м}} = 0,6\gamma_{\text{п}}. \quad (2)$$

При подборе эквивалентных материалов были выбраны две составляющие – песок и парафин. Использовался кварцевый песок с диаметром

зерен 0,30-0,16 мм. Парафин применялся технический СТО 00148636-004-2007.

Для изготовления эквивалентного материала осуществлялось смешивание песка и парафина, процентное содержание смеси по весу находилось в диапазоне от 95 до 98,5 и от 1,5 до 5 соответственно. Для плавления парафина и нагрева песка применялся электрошкаф сушильный типа СНОЛ-3,5. Смесь нагревалась до температуры $130 \pm 3^\circ\text{C}$ и многократно перемешивалась для обеспечения более однородного состава получаемого материала. Готовую смесь укладывали в заготовленные образцы цилиндрической формы размером 50x50 мм по ГОСТ 21153.2-84. Образец представлен на рис. 2.



Рис.2. Образец цилиндрической формы с песчано-парафиновой смесью

Для каждого варианта сочетания песка и парафина были изготовлены 5 образцов (рис. 3).

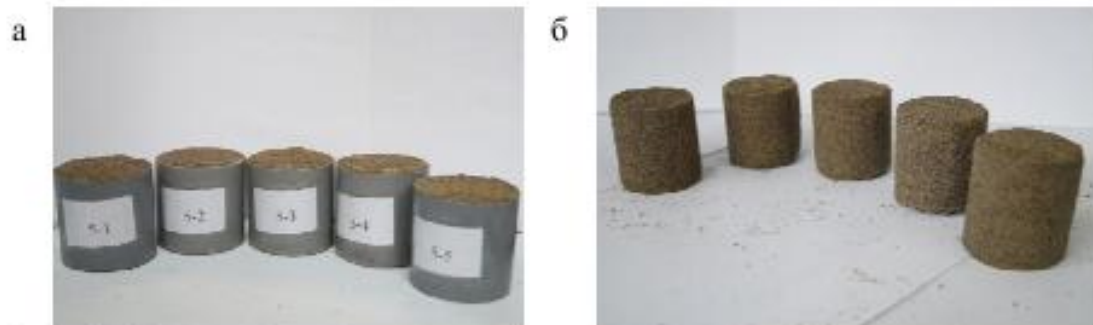


Рис. 3. Образцы цилиндрической формы с песчано-парафиновой смесью:
а – смесь в цилиндрических формах; б – готовые образцы

Испытание образцов на одноосное сжатие осуществлялось на гидравлическом прессе «Азимут» БП-29 (рис. 4). Показания манометра заносились в журнал для последующей обработки данных.

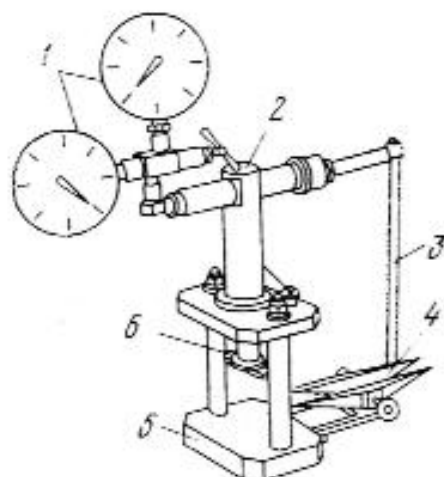


Рис. 4. Пресс ПБ29 для определения прочности образцов [9]:
 1 – манометр; 2 – гидроцилиндр; 3 – рукоятка; 4 – подставка для керна;
 5 – нижняя плита; 6 – верхний клин расклинивания

Нагрузка на образцы прилагалась пропорционально с интервалом $0,5 \text{ кг/см}^2$. Схема испытания при сжатии образцов представлена на рис. 5.

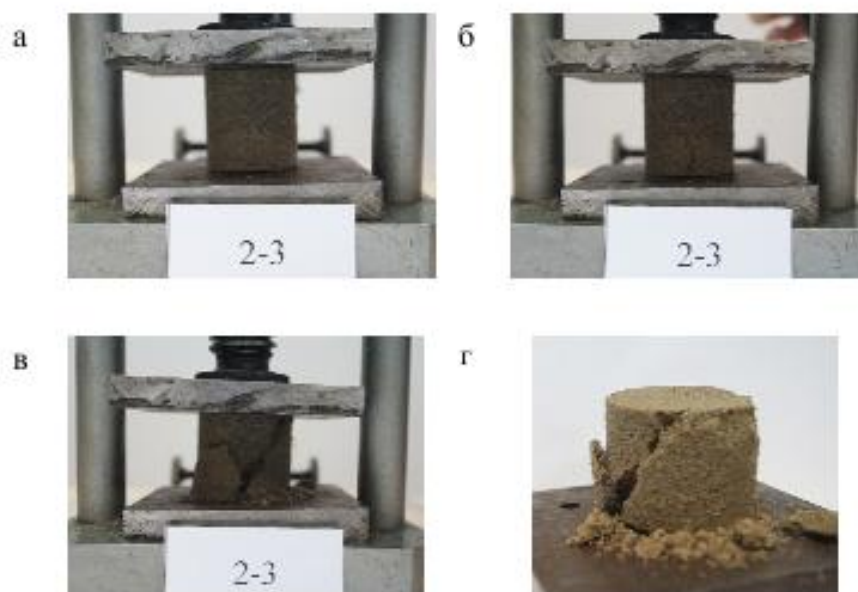


Рис. 5. Схема испытания образцов при сжатии:
 а – исходный образец; б, в – появление и развитие первой трещины
 в образце; г – конечное разрушение образца

По результатам испытаний для соблюдения критерия подобия определялся предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ образцов.

В соответствии с результатами исследований [10], была подобрана рецептура состава смеси и определены пределы прочности эквивалентного материала при сжатии, соответствующие углю, аргиллиту, алевролиту, алевропесчанику и песчанику (табл. 2).

Таблица 2

Предел прочности при сжатии образцов эквивалентного материала

Состав смеси, % (по весу)			Предел прочности при сжатии эквивалентного материала, МПа	
Порода	песок	парафин	расчетный	лабораторный
Уголь	98,52	1,48	0,05	0,10
Аргиллит	98	2	0,18	0,15
Алевролит	97	3	0,24	0,24
Алевропесчаник	96,5	3,5	0,30	0,32
Песчаник	96	4	0,48	0,46

Характер деформирования образцов определялся для эквивалентного материала подобного углю, аргиллиту и алевролиту. Для измерения деформаций в образцах на нижнюю плиту пресса (рис. 6) были закреплены индикаторы часового типа ИЧ-10 кл.0 ГОСТ 577-68 с помощью магнитной стойки типа MB/3 1F бренда «GROZ». Общий вид конструкции стенда для испытаний с индикаторами представлен на рис. 6.



Рис. 6. Общий вид конструкции стенда

Нагрузка увеличивалась пропорционально, показания манометра и индикаторов фиксировались в журнале для очередной обработки данных.

В табл. 3 представлены изображения конечного разрушения эквивалентного материала.

Таблица 3

**Фотографии конечного разрушения образцов
материалов-эквивалентов**

Порода	Фотографии образцов из эквивалентного материала		
Уголь			
Аргиллит			
Алевролит			

Значения вертикальных напряжений, относительных деформаций и модуля упругости образцов были обработаны в программе Microsoft Excel.

После этого был построен в соответствии с рекомендациями, приведенными в статье [11], график (рис. 7) и выведена эмпирическая зависимость вертикальных напряжений от относительных деформаций (табл. 4).

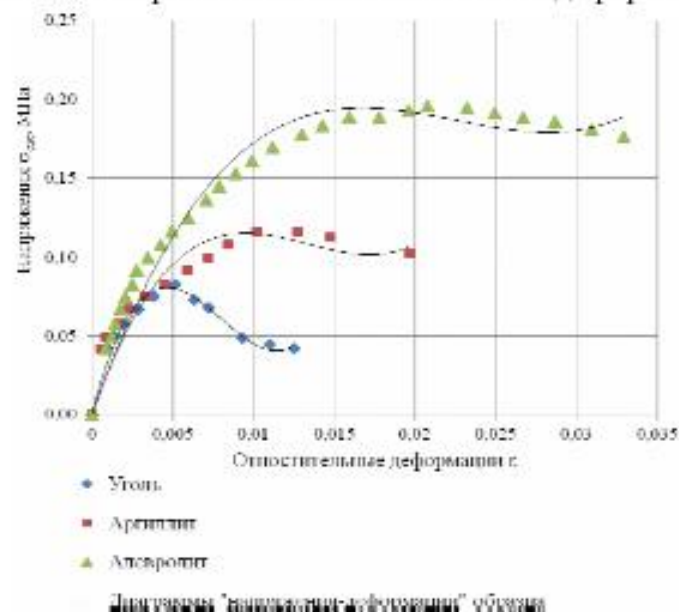


Рис. 7. Графики изменения напряжений – деформаций эквивалентного материала

Таблица 4

Параметры эмпирической зависимости вертикальных напряжений от относительных деформаций

Наименование породы	Вид уравнения	Коэффициент корреляции
Алевролит	$\sigma = 20454\varepsilon^3 - 1379,4\varepsilon^2 + 28,9\varepsilon$	$R^2 = 0,9534$
Аргиллит	$\sigma = 60508\varepsilon^3 - 2425\varepsilon^2 + 29,7\varepsilon$	$R^2 = 0,8556$
Уголь	$\sigma = 254\,972\varepsilon^3 - 6\,140,6\varepsilon^2 + 40,4\varepsilon$	$R^2 = 0,97$

С помощью первой производной из уравнений эмпирических зависимостей был определен модуль деформации для каждого эквивалентного материала. Графики изменения модуля деформации материалов, которые эквивалентны горным породам, представлены на рис. 8.

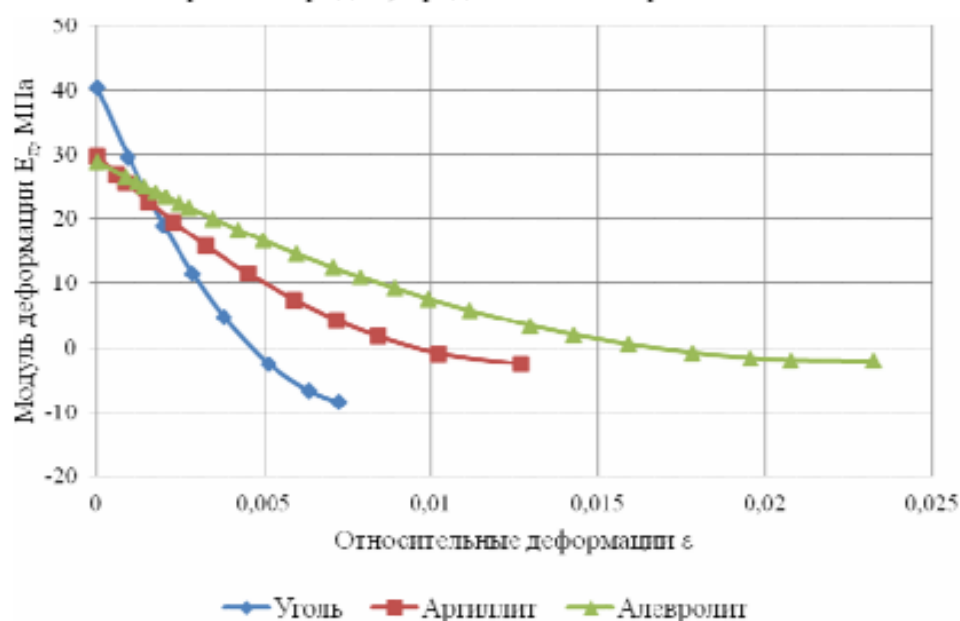


Рис. 8. Графики изменения модуля деформации материала, эквивалентного горным породам

Таким образом, полученные графики модуля деформации предлагается использовать в виде поправочных коэффициентов при корректировке свойств эквивалентного материала в качестве исходных данных при тестировании математической модели. А при численном моделировании геомеханических процессов в окрестности сопряжений горных выработок предлагается использовать коэффициенты подобия между свойствами эквивалентных материалов и реальных пород.

Список литературы

1. Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт / Е.М.Жуков, И.А.Лугинин, Ю.И.Кропотов, К.А.Зырянов, В.В. Басов // Вестник СибГИУ. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015., № 4 (14). С. 26-30.
2. Риб С.В., Басов В.В., Никитина А.М. Исследование влияния дизъюнктивных нарушений на состояние массива горных пород в окрестности подготовительной выработки // Вестник СибГИУ. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. № 1 (15). С. 17-20.
3. Басов В.В., Риб С.В. Исследование влияния структуры и прочности пород почвы на параметры пучения в выработках // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 ч. 13-15 мая 2015 г.; под общ. ред. М.В. Темлянцева. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. Вып.19. Ч.2. С. 20-23.
4. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. М.: Недра, 1966. 180с.
5. Технология проведения и поддержания горных выработок большого сечения угольных шахт /А.Ю. Ермаков, В.П. Васильев, В.Н. Фрянов, В.В. Сенкус. Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2015. 135 с.
6. Моделирование в геомеханике / Ф.П. Глушихин, Г.Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский, В.Н. Павлов, М.С. Злотников. М.: Недра, 1991. 240 с.
7. Басов В.В., Петров А.А., Васильев П.В. Сравнительная оценка соответствия расчётных и измеренных в натурных условиях смещений пород кровли подземных выработок // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей по материалам Междунар. научно-практ. конф., 7-10 июня 2016 г.; под общ. ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. №2. С. 136-140.
8. Моделирование проявлений горного давления / Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев, М.Ф. Шклярский, Г.Г. Юревич. Л.: Недра, 1968. 279 с.
9. Кузнецов Г.Н., Ардашев К.А., Филатов Н.А. Методы и средства решения задач горной механики / под ред. Г.Н. Кузнецова. М.: Недра, 1987. 248 с.
10. Басов В.В., Риб С.В. Подбор эквивалентного материала для физического моделирования геомеханических процессов в окрестности подготовительных выработок угольных шахт // Вестник СибГИУ. 2016. № 4 (18). С. 32-35.
11. Tsvetkov A. B., Pavlova L.D., Fryanov V. N. Construction of the approximant of complete diagram for rock deformation [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 45. P. 1-7

(012009). URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/45/1/012009/pdf>.

Фрянов Виктор Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, fryanov@sibsiu.ru, Россия, Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет,

Басов Вадим Викторович, асп., vadimbassov@yahoo.com, Россия, Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет,

Риб Сергей Валерьевич, ст. преп., seregarib@yandex.ru, Россия, Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет

THE STRAIN CHARACTER STUDY OF THE EQUIVALENT MATERIAL FOR TESTING NUMERICAL MODEL THAT PREDICT STAYING JUNCTION OF MINE WORKINGS

V. V. Basov, S. V. Rib, V. N. Fryanov

The results of studies of the character strain of an equivalent material. The research program is presented. Based on the results of the studies, stress-strain diagrams were obtained when testing samples from an equivalent material. Empirical dependences of vertical stresses on relative strain. The modulus of strain of an equivalent material is determined for various ratios of its components.

Key words: sedimentary rocks, physical modeling, sandy-paraffin compound, compression strength, relative strain, equivalent material, stress-strain modulus, criterion of similitude.

Fryanov Viktor Nikolaevich, doctor of technical science, professor, manager of the Department of Geotechnology fryanov@sibsiu.ru, Russia, Novokuznetsk, Siberian State Industrial University,

Basov Vadim Viktorovich post graduate student, Department of Geotechnology, vadimbassov@yahoo.com, Russia, Novokuznetsk, Siberian State Industrial University,

Rib Sergey Valerievich senior lecturer, Department of Geotechnology, seregarib@yandex.ru, Russia, Novokuznetsk, Siberian State Industrial University

Reference

1. Zhukov E.M., Luginin I.A., Kropotov Ju.I., Zyrjanov K.A., Basov V.V. Ocenka vlijanija treshhin na ustojchivost' porod v krovle podgotovitel'nyh vy-rabotok ugoľnyh shaht // Vestnik SibGIU. Novokuzneck: Izd. centr SibGIU, 2015., № 4 (14). S. 26-30.
2. Rib S.V., Basov V.V., Nikitina A.M. Issledovanie vlijanija diz#junk-tivnyh narushenij na sostojanie massiva gornyh porod v okrestnosti podgoto-vitel'noj vyrabotki // Vestnik SibGIU. Novokuzneck: Izd. centr SibGIU, 2016. № 1 (15). S. 17-20.
3. Basov V.V., Rib S.V. Issledovanie vlijanija struktury i prochnosti porod pochvy na parametry puchenija v vyrabotkah // Nauka i molodezh': proble-my, poiski, reshenija: trudy Vserossijskoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, 13-15 maja 2015 g.; pod obshh. red. M.V. Temljance-va. V 4 ch. Novokuzneck: Izd. centr SibGIU, 2015. Vyp.19. Ch.2. S. 20-23.

4. Zaslavskij Ju.Z. Issledovanie projavlenij gornogo davlenija v kapi-tal'nyh vyrabotkah glubokih shaht Doneckogo bassejna. M.: Nedra, 1966. 180s.
5. Tehnologija provedenija i podderzhaniya gornyh vyrabotok bol'shogo sechenija ugol'nyh shaht – Novokuzneck/ A.Ju. Ermakov, V.P. Vasil'ev, V.N. Frjanov, V.V. Senkus// NFI KemGU, 2015. 135 s.
6. Modelirovanie v geomehanike / F.P. Glushihin, G.N. Kuznecov, M.F. Shkljarskij, V.N. Pavlov, M.S. Zlotnikov// M.: Nedra, 1991. 240 s.
7. Basov V.V., Petrov A.A., Vasil'ev P.V. Sravnitel'naja ocenka soot-vetstvija raschjotnyh i izmerennyh v naturnyh uslovijah smeshhenij porod krovli podzemnyh vyrabotok // Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov: sbornik nauchnyh statej po materialam Mezhdunar. nauchno-prakt. konf., 7-10 ijunja 2016 g. pod obshh. red. V.N. Frjanova. Novokuz-neck: Izd. centr SibGIU, 2016. №2. S. 136-140.
8. Modelirovanie projavlenij gornogo davlenija / G. N. Kuznecov, M. N. Bud'ko, Ju. I. Vasil'ev, M.F. Shkljarskij, G.G. Jurevich// L.: Nedra, 1968. 279 s.
9. Kuznecov G.N., Ardashev K.A., Filatov H.A. Metody i sredstva reshe-nija zadach gornoj mehaniki / pod red. G.N. Kuznecova. M.: Nedra, 1987. 248 s.
10. Basov V.V., Rib S.V. Podbor jekvivalentnogo materiala dlja fiziche-skogo modelirovanija geomechanicheskikh processov v okrestnosti podgotovi-tel'nyh vyrabotok ugol'nyh shaht // Vestnik SibGIU. Novokuzneck: Izd. centr SibGIU, 2016. № 4 (18). S. 32-35.
11. Tsvetkov A. B., Pavlova L.D., Fryanov V. N. Construction of the approx-imant of complete diagram for rock deformation [Jelektronnyj resurs] // IOP Con-ference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 45. P. 1-7 (012009). URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/45/1/012009/pdf>.

УДК: 622.271

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА

С.В. Цирель, А.А. Павлович, Н.Я. Мельников

Рассмотрен процесс физического моделирования прибортового массива методом эквивалентных материалов. На основе результатов моделирования, проведен анализ деформационных процессов, возникающих при моделировании открытой отработки, установлены критерии устойчивости откоса борта на каждом этапе, определена зона смещений в массиве перед обрушением и во время обрушения борта, произведено сравнение реальной и расчетной поверхности скольжения.

Ключевые слова: устойчивость борта карьера, напряженное состояние горных пород, деформационные процессы, обрушение, открытая разработка, физическое моделирование, коэффициент запаса устойчивости, поверхность скольжения.

Введение

При оценке устойчивости бортов, необходимо изучать типы, зоны распространений, и закономерности развития деформационных процессов в массиве, образующихся по мере понижения горных работ, на различных этапах отработки карьеров. Существует целый ряд подходов к анализу де-

<i>Рыбак Л.В., Бурцев С.В., Ефимов В.И.</i> Система контроля параметров высокоточного бурения на открытых горных работах.....	119
<i>Ягодкин Ф.И., Прокопов А.Ю., Ткачев В.А.</i> Облегченные крепи вертикальных стволов.....	125

ГЕОМЕХАНИКА

<i>Басов В.В., Риб С.В., Фрянов В.Н.</i> Исследование характера деформирования эквивалентного материала для тестирования численной модели прогноза устойчивости сопряжений горных выработок.....	134
<i>Цирель С.В., Павлович А.А., Мельников Н.Я.</i> Применение физического моделирования для установления критериев потери устойчивости прибортового массива.....	145

ЭКОНОМИКА

<i>Басова И.А., Чекулаев В.В.</i> Влияние природных факторов на кадастровую оценку земель особо охраняемых территорий и объектов в Тульской области.....	153
<i>Кобзина С.А.</i> Совершенствование методического обеспечения оценки деятельности при формировании сведений об объектах недвижимости.....	164
<i>Рыбак Л.В., Бурцев С.В., Ефимов В.И., Федяев П.М.</i> Аутсорсинг как механизм повышения топливной безопасности в угольной промышленности.....	172
<i>Силкин А.В., Лупанов А.П.</i> Выбор показателей, характеризующих развитие предприятия сезонного бизнеса....	178
<i>Яковенко Н.В., Диденко О.В.</i> Современное состояние и приоритеты в развитии малого и среднего предпринимательства Воронежской области.....	186

Научное издание

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Выпуск 2

Редактор Н.М. Качурин

Компьютерная правка и верстка – Г.В. Стась, Т.В. Бекленицева

Учредитель:
ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет"

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97.
Подписано в печать 19.06.17. Дата выхода в свет 26.06.17.
Фотмат бумаги 70×100 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 11,5. Уч. -изд. л. 9,9.
Тираж 500 экз. Заказ 102.
Цена свободная

Тульский государственный университет
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Адрес редакции:
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95