

Міністерство освіти і науки,  
молоді та спорту України

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»*

# **Вісник**

## **Криворізького національного університету**

*Збірник наукових праць*

*Випуск 32*

**Кривий Ріг 2012**

У збірнику викладено результати досліджень у галузі технічних та економічних наук.

Значну увагу приділено питанням відкритої та підземної розробки рудних родовищ, збагачення руд, автоматизації контролю та керування технологічними процесами гірничого виробництва. Важливе місце займають питання енергозбереження, економіки, надійності, охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

Збірник розраховано на наукових й інженерно-технічних працівників, а також може бути використаний студентами вищих навчальних закладів.

Редакційна колегія: **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф. (відповідальний редактор); **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф. (заступник відповідального редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Барашиков А.Я.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Гірін В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Голишев О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Долгоруков Ю.О.**, д-р екон. наук, проф.; **Євтехов В.Д.**, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Pias Nicolae**, Dr.h.c., Professor, University of Petrosani, Romani; **Кіянновський М.В.**, д-р техн. проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Несмашний Є.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Нусінов В.Я.**, д-р екон. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Решетілова Т.Б.**, д-р екон. наук, проф.; **Рудь Ю.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Синолиций А.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Сапига С.Я.**, д-р екон. наук, проф.; **Самуся В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Ступнік М.І.**, д-р, техн. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Туріло А.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Учитель А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоркін С.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Шишкін О.О.**, д-р техн. наук, проф.

Адреса редакції: 50002, Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 44.

ДВНЗ «Криворізький національний університет». Тел. 262 407.



ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Ступник Н.И., Андреев Б.Н., Письменный С.В. Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений .....	3
Григор'єв І.С. Методологія проектування кар'єрів у сучасних умовах .....	6
Скачков А.А. Математичне моделювання розповсюдження вибухової хвилі у масиві гірської породи .....	10
Бабець Є.К. Удосконалення процесів ресурсозбереження на гірничих підприємствах при комплексній розробці залізрудних родовищ .....	14
Васильчук Я.В. Математическое моделирование взрывов в горных породах .....	18
Колосов В.А. Организация системы управления показателями извлечения железных руд при подземной разработке месторождений .....	22
Тищенко С.В., Еременко Г.И., Федин К.А. Особенности механизма разрушения горных пород дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ .....	25
Слободянюк В.К., Турчин Ю.Ю. Актуальные проблемы ввода в эксплуатацию глубоких горизонтов железорудных карьеров .....	28
Николашин Ю.М., Перегудов Ю.В. Геомеханическая схема расчета устойчивости подработанного борта карьера с крутопадающей слоистостью .....	32
Волкова В.С., Бровко Д.В., Хворост В.В. Обгрунтування параметрів прогонних будов на поверхні шахт з урахуванням переходу на полегшені огорожувальні конструкції .....	36
Швагер Н.Ю. Завдання і функції керівника підприємства при забезпеченні безпеки праці .....	41
Филимонов П.Е., Морус В.Л. Исследования процессов тонкого грохочения с пространственным и гидродинамическим перемещением надрешетных фракций .....	45
Голишев О.М., Голишев А.О., Михалків Д.В., Кіріченко П.С. Пріоритетні напрямки підвищення енергоефективності будівель навчальних закладів .....	49
Латишин А.А., Серебряников Э.В., Латшина Д.А. Термодинамический анализ процесса расширения водовоздушной смеси .....	53
Давыдов А.В., Гольшев А.М., Пищикова Е.В. Анализ существующих методов и выбор критериев базовой оценки рисков в области охраны труда в условиях горных предприятий .....	58
Чередніченко В.О. Оцінювання ризику є основою управління охороною праці та промисловою безпекою .....	63
Романенко К.А. Дослідження ефективності підсилення просторової конструкції промислової споруди .....	67
Бондарец А.А., Неймирко С.И. Теоретическое исследование двухмассового виброзащитного устройства переносного пневматического перфоратора с независимым вращением инструмента с учетом вязкого трения .....	72
Рудь Ю.С., Радченко И.С., Малиновская А.Ю. Оптические свойства наночастиц цинка .....	77
Купін А.І. Дослідження та обгрунтування вибору методів навчання багатомірних нейромережових структур технологічного призначення .....	83
Гальченко А.В., Монастирський Ю.А., Веснін А.В., Сістук В.О. Коригування мінімальної ширини площадок для маневрування кар'єрних автосамоскидів у відповідності до гірничотехнічних умов .....	87
Дубровский С.С., Самошкина С.П., Орлов Е.В. Влияние дефектов полученных в процессе изготовления и монтажа на эксплуатационные свойства деталей .....	91
Моркун В.С., Гончаров С.А., Подгородецкий Н.С. Моделирование изменения давления в процессе распространения фронта импульса высокоэнергетического ультразвука в потоке пульпы .....	93
Толмачов С.Т., Ільченко О.В., Батраков Д.В., Бондаревський С.Л., Рожненко Ж.Г., Пархоменко Р.О. Аналіз основних показників енергоефективності в ДВНЗ «Криворізький національний університет» .....	98
Сінчук О.М., Бойко С.М. До питання про вибір потужностей вітрогенераторних мініелектростанцій для підземних виробок шахт .....	102
Жуков С.А., Гирин В.С., Гирин И.В. Гранулометрический контроль областей регулярности состава дробленных пород .....	105
Павлыш В.Н., Гребенкин С.С., Тарабаева И.В. Экспериментальные исследования процесса сушки в «кипящем слое» в условиях предприятия «ЧАО Яновское» .....	109
Синчук О.Н., Лесной Н.И. Методика расчета экономически обоснованного режима эксплуатации силовых трансформаторов .....	111
Бугаева Н.А., Селезнева Ю.М., Назимко И.В. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг длинного очистного забоя. Настройка модели .....	114
Кіановський М.В., Гуцал А.В. Діагностика локальних дефектів та ресурсу поверхонь тертя .....	118
Нечаев В.П., Рязанцев А.А. Модификация свойств поверхностных слоев тяжело нагруженных деталей горных машин посредством плазменного упрочнения .....	123
Тришина Г.Г., Антонік І.П. Оцінка стану екологічної безпеки ґрунтового покриву Кривбасу під час експлуатації нафтоперекачувальної станції «Широке» ПАТ «Укртранснафта» .....	127
Комащенко П.Г., Рясний В.М. Надійність запобіжних пристосувань малогабаритного аварійно-рятувального монорейкового підйомника як один з чинників підвищення безпеки праці гірників під час проведення піднятих гірничих виробок .....	132
Веснін А.В., Почужевський О.Д. Методика визначення показників складності маршруту руху, ефективності роботи та узгодженості параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрних самоскидів .....	136
Малыновский Ю.А., Малиновская С.И. Оптимизация процесса подготовки рудных материалов в измельчительных машинах .....	140
Олейник Т.А., Кривенко А.Ю. Математическое моделирование параметров направляющих элементов устройства исходного питания дещламаторов .....	145
Зіборов К.А., Федоряченко С.О. Математична модель шахтної вагонетки з додатковою кінематичною рухливістю ланок ходової частини .....	149
Веснін А.В., Почужевський О.Д., Кристочук М.С. Аналіз моделей транспортної рухливості населення .....	155

<i>Аралкін А.С., Дехтяренко І.О.</i> Науково-технологічне обґрунтування та модернізація конструкції приводу головного руху верстата мод. 675П .....	159
<i>Степаненко Е.Ю., Семенченко А.К., Шабав О.Е.</i> Экспериментальные исследования формирования затрат времени на обработку забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна .....	163
<i>Трегубов В.А., Замыцкий О.В., Кривенко А.Ю.</i> Выбор геометрических параметров радиально-кругового сопла набрызгбетонной машины .....	167
<i>Сінолиций А.П., Кольсун В.А., Козлов В.С.</i> Ідентифікація енергетичної моделі електроспоживача для нетрадиційних систем технологічного контролю енергопоказників .....	170
<i>Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О.</i> Окремі питання розрахунку залізобетонних елементів, підсилених нарощуванням .....	173
<i>Єфіменко В.І., Сліпич О.О.</i> Особливості проведення обстежень і паспортизації будівель та споруд .....	177
<i>Рутковский М.А., Заболотный К.С.</i> Построение обобщенной параметрической модели обечайки барабана шахтной подъемной машины .....	180
<i>Губин Г.Г.</i> К вопросу о теоретических основах интенсификации сгущения коллоидных суспензий .....	184
<i>Рыльков С.А., Николаенко К.В.</i> Особенности осаждения соединения ванадия и железа из раствора выщелачивания отработанных ванадиевых катализаторов .....	187
<i>Роевко А.Н., Харин С.А.</i> Влияние прочностных свойств пород на изменение структуры проходческого цикла в шахтных стволах .....	191
<i>Бережной Н.Н., Стойкова Я.А.</i> Анализ способов и систем загрузки агломерационных и обжиговых машин конвейерного типа .....	194
<i>Лобов В.Й., Дубовик І.І.</i> Перспективи впровадження систем прецизійного землеробства в АПК України .....	199
<i>Ліпанчиков С.І.</i> Аналіз методів прогнозування пустот для запобігання техногенних явищ .....	203
<i>Азарян А.А., Дрига В.В., Цыбулевский Ю.Е., Швайдкий А.В.</i> Снижение погрешности обусловленной вариацией концентрации пульпы при дискретном контроле содержания в ней магнетита магнитометрическим способом .....	207
<i>Ткач В.В., Амельченко А.С., Васильев В.В.</i> Особливості застосування ультразвукових методів для контролю чавунних виливок серійного виробництва з метою підвищення їх якості .....	212
<i>Плотников В.В., Ярош Т.П., Марасанова О.В.</i> Перспективи утилізації промислових відходів у металургійному виробництві .....	215
<i>Петренко Ю.А., Новиков А.О., Резник А.В., Шестопалов И.Н.</i> Равнорядиусная металлическая крепь направленной податливости .....	219
<i>Боровий В.О., Маленков Р.О.</i> Інтерактивний кадастр територій та об'єктів природно-заповідного фонду .....	222
<i>Толмачев С.Т., Бондаревский С.Л., Кондратенко И.П.</i> К вопросу о моделировании процесса движения магнитных частиц в неоднородном магнитном поле .....	224
<i>Калініченко Ю.П., Хіноцька А.А., Яременко В.П.</i> Гвинтовий натискний механізм робочих клітей підвищеної якості в роботі .....	228
<i>Костянський А.Н., Чепурной В.И.</i> О резервах доставки горной массы карьерным транспортом в карьере ИнГ'ОКа .....	231
<i>Процив В.В., Твердохлеб А.М.</i> Алгоритм работы системы регулирования тягового усилия шахтного локомотива .....	234
<i>Шокін В.П., Хромей О.В.</i> Аналіз характеристик автоматизованої системи керування збудженням тягового генератора залізничного транспорту .....	239
<i>Шолох М.В., Топчій О.Л.</i> Прогнозування якісних показників корисної копалини при комплексному освоєнні родовища .....	241
<b>ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ</b>	
<i>Калініченко О.В., Ступнік М.І., Калініченко В.О.</i> Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд .....	246
<i>Максимов С.В., Темченко О.А., Темченко Г.В.</i> Передумови впровадження енергозберігаючих заходів в процесі видобутку і переробки залізорудної сировини .....	250
<i>Гаренко А.А., Кочура С.В.</i> Економіко-математична імітаційна модель процесу формування собівартості продукції дробарних фабрик .....	256
<i>Попов С.О., Максимова І.І.</i> Економічне обґрунтування кондицій та контуру запасів залізних руд при їх підземному видобутку .....	259
<i>Максимова О.С.</i> Методичні підходи формування оптимальної структури основних виробничих фондів на гірничорудних підприємствах .....	264
<i>Захарченко І.С.</i> Економіко-математичні моделі економічної активності підприємств ГМК .....	268
<i>Максимов С.В., Монастирська О.Ю.</i> Питомі витрати палива кар'єрних автосамоскидів як показник економічної ефективності роботи транспортної системи кар'єру .....	272
<i>Сазонов Р.В., Слосаренко І.С., Троян В.І.</i> Аналіз сучасного стану банківської системи України .....	276
<i>Удовенко В.О., Удовенко О.О., Жук В.В., Скринник О.О.</i> Стратегія управління конфліктом в економічній системі .....	281
<i>Брадул О.М., Юнацький М.О.</i> Державний фінансовий аудит в Україні .....	286
<i>Измайлова О.О.</i> Аналіз ефективності використання основних засобів гірничо-збагачувальних підприємств .....	290
<i>Измайлов Я.О.</i> Передінвестиційний аналіз у системі підготовки рішень з іноземного інвестування .....	296
<i>Єгорова І.Г.</i> Конкурентні умови експортних поставок української залізорудної продукції на Східноєвропейський сегмент міжнародного ринку .....	301
<i>Шевченко Л.Я.</i> Аналітичне забезпечення стратегічного управління діяльністю корпоративних підприємств .....	306
<i>Боровий В.О., Олінович А.С., Іванченко О.В., Сидоренко В.Д.</i> Переваги та проблеми у скасуванні мораторію на купівлю-продаж земель сільськогосподарського призначення .....	310
<i>Жуков С.А., Яковенко А.В., Харин С.А.</i> Управление инновационными процессами в железорудной промышленности: проблема координации .....	313
<i>Варава А.А.</i> Оцінка ефективності реалізації інформаційної підсистеми стратегічного управління на основі методу збалансованих показників .....	316
<b>АНОТАЦІЇ</b>	
<i>ДО 75-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ БИЗОВА В.Ф.</i> .....	321
	337



торов на ГПП при их установке или замене, указывая их реальную стоимость эксплуатации.

#### Список литературы

1. Самойлович И.С., Синчук О.Н., Панасенко Н.В., Ксендзов В.В. Электроэнергетика карьеров с циклично-поточной технологией. – К.: «АДЕФ-Украина», 2010. – 210 с.
2. Федоров А.А., Каменев В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с., ил.
3. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 488 с.
4. Мелешко И.Ю., Френкель В.Ю., Кириллов В.М., Майзус С.И. ГОСТ 11677-85 «Трансформаторы силовые общие технические условия». - М., 1985. – 48 с.
5. Официальный сайт ГП «Енергоринок» // <http://www.er.gov.ua/>

Рукопись поступила в редакцию 06.03.12

УДК 622.831

Н.А. БУГАЕВА, аспирантка, Ю.М. СЕЛЕЗНЕВА, студентка,  
 Национальный технический университет, Донецк  
 И.В. НАЗИМКО, канд. техн. наук, УкрНИИМИ НАН Украины, Донецк

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ДЛИННОГО ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ. НАСТРОЙКА МОДЕЛИ

Проведена подготовка и настройка компьютерной модели для изучения распределения напряжений и деформаций пород вокруг лавы, показана достоверность результатов компьютерного моделирования.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Известно, что напряженно-деформированное состояние (НДС) массива значительно влияет на безопасность отработки запасов. Поэтому исследование этого состояния является актуальной научно-практической задачей.

**Анализ исследований и публикаций.** В ходе исследований используются различные методы для прогноза такого влияния, среди которых наиболее показательным является моделирование НДС с помощью метода конечных элементов (МКЭ). При этом параметры модели необходимо настроить так, чтобы расчетные показатели напряжений и деформаций соответствовали фактическим.

**Постановка задачи.** Целью работы является настройка модели для исследования НДС массива горных пород вокруг длинного очистного забоя для условий Донбасса.

**Изложение материала и результаты.** Для решения данной задачи были приняты средние горно-геологические и горнотехнические условия, которые для Донбасса характеризуются мощностью угольного пласта порядка 1,7 м, породами средней обрушаемости класса  $A_1, A_2$ . Породы представлены перемежающимися слоями алевролитов и песчаников средней прочности (40-70 МПа) с пологим залеганием. Управление кровлей осуществляется путем ее полного обрушения. Угольный пласт марки К обрабатывается по столбовой системе разработки, скорость подвигания лавы 100-150 м/мес. Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные условий подработки	
Параметры	Значение
Глубина разработки, м	210
Длина лавы, м	290
Мощность горизонтально залегающего пласта, м	1,7
Мощность наносов, м	60
Мощность слоев, м	10-15
Модуль упругости, ГПа	0,001-15
Коэффициент Пуассона	0,1-0,5
Угол внутреннего трения, град	10-50
Сцепление, МПа	0,001-15
Нагрузка, Па	2500
Объемный вес, МН/м <sup>3</sup>	0,025

Мощность пласта 1,7 м является приемлемой в связи с тем, что большинство шахт обрабатывают пласты с такой мощностью, используя механизированные комплексы. Данная мощность обеспечивает современную добычу 3-5 тыс. т/сут. при дегазации пласта скважинами с

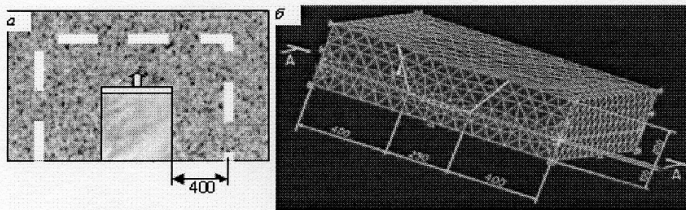
применением прямоточной и комбинированной схемы проветривания с подсыжением. Указанные темпы добычи при такой мощности требуют повышение длины лавы до 280-300 м. При этом длина столба принимается не меньше двух длин лавы, так как процесс установившегося сдвигения начинает стабилизироваться после отхода лавы от разрезной печи на расстояние, большее длины лавы. Для таких условий мощности пласта и длины лавы принята глубина разработки 210 м. Именно при таком сочетании глубины разработки, длины лавы и длины ее отхода согласно «Правилам...» [1] наступает условие, близкое к условиям полной подработки земной поверхности, поскольку углы полных сдвижений соединяются практически на уровне земной поверхности. Такое состояние является наиболее выгодным для моделирования, так как оно обладает общностью (содержит черты как полной, так и неполной подработки земной поверхности). Следовательно, и результаты моделирования будут максимально информативными.

В связи с тем, что сходимость численных методов решения резко падает, если элементы малых размеров расположены рядом с крупными, высота зоны обрушенных пород принята равной 20 мощностям вынимаемого пласта. Это дает возможность учесть вынимаемую мощность пласта непрямым путем, поскольку мощность зоны беспорядочного обрушения составляет 6-8 вынимаемых мощностей угольного пласта. Известно, что в процессе обрушения порода разуплотняется и заполняет выработанное пространство. При вынимаемой мощности пласта 1,7 м высота зоны беспорядочного обрушения составит 10-14 м. В итоге физическая пустота выработанного пространства трансформируется в трещиноватую область пород, которая обладает повышенной податливостью.

Таким образом, выработанное пространство лавы можно моделировать путем снижения модуля деформации в пределах зоны беспорядочного обрушения. При этом установлено, что в зависимости от густоты трещин и величины их раскрытия модуль деформации обрушенной уплотненной толщи может уменьшаться на 70 % и более по сравнению с модулем деформации нетронутого массива.

На рис. 1 приведена модель массива с полученной в результате расчетов мульдой сдвигения. Поясним на этой схеме выбор граничных условий. Для расчета из массива выделен блок размерами 1000×790×310 м. Размеры блока обоснованы следующим образом: лавы размещены от нижней грани модели на расстоянии 100 м, что вполне достаточно для того, чтобы нижняя граница расчетной области была дальше, чем граница зоны разгрузки. Боковые стенки модели должны быть расположены так, чтобы углы сдвижений от краевых частей выработанного пространства не выходили за пределы земной поверхности.

Рис. 1. Модель массива для расчета сдвижений земной поверхности: а - в плане; б - в трехмерном виде



Специфика поставленной задачи заключается в том, что возникает необходимость учета свойств всей толщи, начиная с земной поверхности и заканчивая нижней границей расчетной области, которая совмещена с границей зоны разгрузки надра-

ботанной толщи.

При этом процесс сдвигения протекает под действием сил гравитации. В связи с этим для стохастического моделирования необходимо использовать весомую модель, что обеспечивается учетом объемного веса горных пород.

Для моделирования приняты следующие граничные условия: боковые стенки закреплены так, что перемещение возможно только в вертикальном направлении; нижняя граница (дно) модели закреплена жестко, верхняя граница свободна, что позволяет оседание модели под силами гравитации. Дальнейшие операции компьютерного моделирования выполнялись на плоской модели для упрощения решения поставленной задачи, представленной на рис. 2.



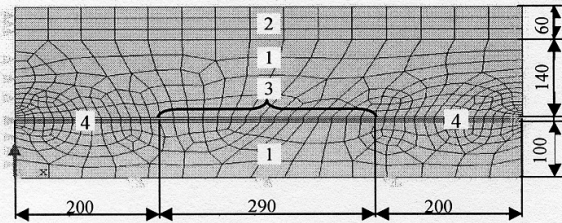


Рис. 2. Плоская модель массива горных пород для выполнения компьютерного моделирования: 1 - коренные породы; 2 - наносы; 3 - положение лавы; 4 - угольный пласт

По полученным данным построена мульда сдвижения, приведенная на рис. 3.

Сдвигения земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения

$$\eta(x, y_1, y_2) = \eta_m S(zx, y_1, y_2)$$

где  $\eta$  - оседания земной поверхности;  $x, y_1, y_2$  - относятся соответственно к полумульдам по простиранию  $L_3$ , падению  $L_1$  и восстанию  $L_2$  пласта и указывают расстояние от начала полумульды (начала координат) до точки расчета деформаций;  $S(z)$  - функция, выражающая закономерность изменения величин соответствующих сдвижений в точках полумульды;  $Z_{x, y_1, y_2} = x, y_1, y_2 / L_{3, 1, 2}$  - расстояние от начала полумульды (от начала координат) до точки расчета в долях длины полумульды соответственно по простиранию, падению и восстанию пласта.

По полученным данным построена мульда сдвижения, приведенная на рис. 3.

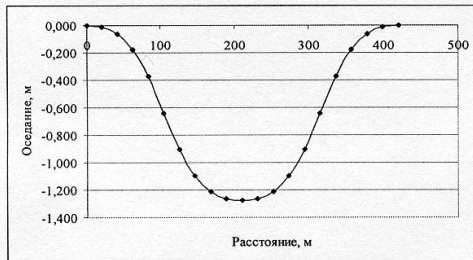


Рис. 3. Мульда оседаний земной поверхности рассчитанная по «Правилам ...» [1]

При заданных исходных условиях существует большое число возможных сочетаний модуля упругости, коэффициента Пуассона, сцепления и угла внутреннего трения для каждого из породных слоев, что существенно увеличивает сложность задачи настройки модели.

При этом только ограниченное число сочетаний указанных величин обеспечивает максимальное совпадение параметров мульды, полученной на модели и с помощью «Правил...».

Для нахождения этого сочетания использован метод планирования эксперимента на основе латинских квадратов [2].

Перед его использованием вычислено необходимое и достаточное количество экспериментов  $n$ , которое при относительной погрешности равной 0,05-0,1 и коэффициенте вариации 0,3 составило 8-32 при доверительной вероятности 95 %.

Геомеханическая система, имеющая несколько групп породных слоев и содержащая выемку, свободную поверхность и закрепленные границы, состоящая из материала с определенным пределом прочности и нелинейным поведением, вероятнее всего будет нелинейной. Для описания нелинейной зависимости необходимо 3-5 точек, что обеспечивает возможность обнаружения нескольких экстремумов.

В таком случае каждый исходный параметр будет принимать по пять значений, выбранные через определенный одинаковый интервал так, чтобы охватить весь диапазон изменения данного показателя (фактора). В табл. 2 приведены факторы на пяти уровнях, которые будут изменяться при выполнении стохастического моделирования.

Таблица 2

Уровень	Факторы и уровни исходных данных															
	Факторы и их значения															
	$E_1$ , ГПа	$C_1$ , МПа	$\mu_1$	$\varphi_1$ , °	$E_2$ , ГПа	$C_2$ , МПа	$\mu_2$	$\varphi_2$ , °	$E_3$ , ГПа	$C_3$ , МПа	$\mu_3$	$\varphi_3$ , °	$E_4$ , ГПа	$C_4$ , МПа	$\mu_4$	$\varphi_4$ , °
1	0,100	0,500	0,1	10	10,00	3	0,1	10	0,001	0,001	0,1	10	1,00	1,00	0,1	10
2	0,125	0,525	0,2	20	11,25	6	0,2	20	0,025	0,125	0,2	20	1,25	1,25	0,2	20
3	0,150	0,550	0,3	30	12,50	9	0,3	30	0,050	0,250	0,3	30	1,50	1,50	0,3	30
4	0,175	0,575	0,4	40	13,75	12	0,4	40	0,075	0,375	0,4	40	1,75	1,75	0,4	40
5	0,200	0,600	0,5	50	15,00	15	0,5	50	0,100	0,500	0,5	50	2,00	2,00	0,5	50

На рис. 4 приведено соотношение для сцепления и модуля упругости пород, из которого следует, что при большем сцеплении больше модуль упругости и наоборот. Это позволило модифицировать методику проведения экспериментов, используя парную корреляцию, что сократило количество опытов до 25.

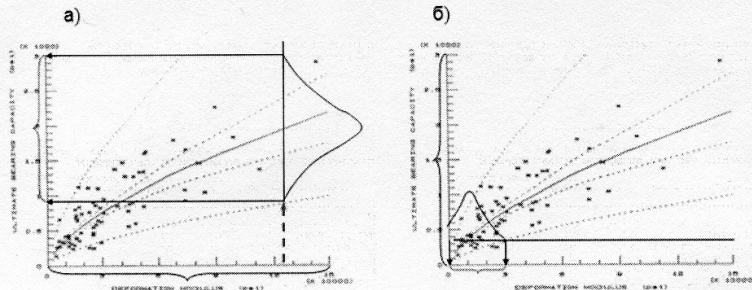


Рис. 4. Корректировка плана эксперимента на корреляцию сцепления и модуля деформации: а - первые 13 экспериментов; б - вторые 12 экспериментов

В ходе моделирования для каждой из 25 моделей получены значения координат узлов элементов и вертикальных деформаций в

этих узлах, на базе чего построены муьды оседаний земной поверхности при разных сочетаниях физико-механических свойств в массиве горных пород, представленные на рис. 5.

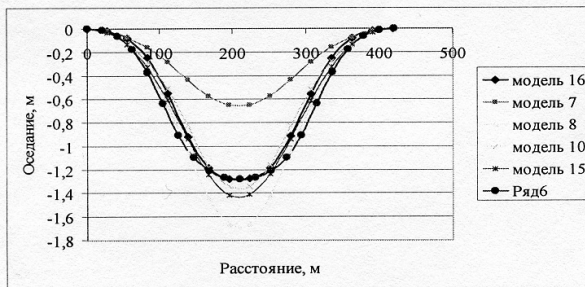


Рис. 5. Муьды сдвижений, построенные для нескольких разных моделей по предложенной методике и по «Правилам охраны...»

Сопоставление муьды сдвижений, построенной по «Правилам...», с муьдой, полученной для модели №16, показывает, что разница не превышает 11 % (см. рис. 5). Это позволяет в дальнейшем использовать данную модель в качестве основы для стохастического моделирования.

вания.

Длина муьды равняется 420 м, максимальные оседания наблюдаются над центром лавы и достигают значения 1,275 м.

Вертикальная компонента геостатического горного давления является одним из факторов, доказывающим достоверность используемой модели. В данном случае эта компонента для точки на глубине 210 м при  $X = 133$  м равна 5,43 МПа, при расчете по классической формуле  $\gamma H$  составляет 5,25 МПа. Разница между этими значениями не превышает 4 %.

На рис. 6 представлено распределение вертикальной компоненты ( $S_y$ ) в массиве горных пород. Видно, что зоны максимального напряжения 1 и 2 сформировались у краевых частей выработанного пространства лавы и в пределах зоны опорного давления и составляют около 19 МПа, что в 3,8 раза выше геостатического уровня. Это хорошо согласуется с установленной закономерностью формирования зоны опорного давления вокруг выработанного пространства. Зоны разгрузки 3 приурочены к середине выработанного пространства. При этом разгрузка в почве меньше и быстро затухает по мере удаления вниз от почвы отработанного пласта.

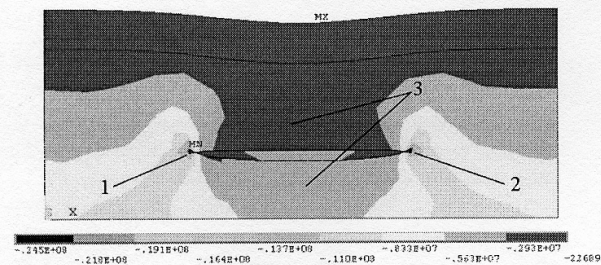


Рис. 6. Напряжения по вертикальной компоненте в массиве для модели №16

В кровле наоборот, разгруженная от горного давления область распространяется на всю высоту массива. В целом такие закономерности распределения вертикальной компоненты вокруг выработанного пространства лавы хорошо согласуются с известными параметрами распределения напряжения, что

свидетельствует о достоверности полученных результатов компьютерного моделирования.

Известно, что при величине вынимаемой мощности более 0,7 м сдвижение подрабатываемой поверхности протекает в запредельном состоянии, в результате которого возникают зоны разрушения.



Поэтому для подтверждения достоверности данной модели было построено распределение эквивалентных пластических деформаций в вертикальной плоскости, показанное на рис. 7.

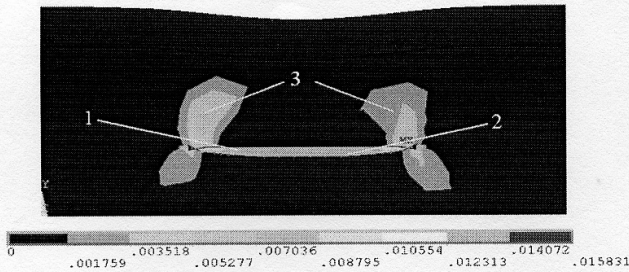


Рис. 7. Распределение эквивалентных пластических деформаций для модели №16

Из данных рис. 7 следует, что зоны максимальных разрушений 3 приурочены к краевым частям выработанного пространства и наклонены в его сторону примерно на  $70^\circ$ . Это хорошо согласуется с известной схемой сдвижений, которая трактует указанные области как зоны мак-

симальных изгибов с возможным расслоением [3]. Максимальные необратимые деформации достигают величины 0,015, что в 2-3 раза больше предельных деформаций, при которых наступает разрушение породы. Кроме того, разрушения наблюдаются в зоне беспорядочного обрушения пород 1, и в зоне поднятий пород почвы очистной выработки 2. Это соответствует общепринятым положениям схемы сдвижения.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, настройка модели, проведенные исследования и полученные результаты свидетельствуют о достоверности компьютерного моделирования. Дальнейшие исследования могут быть направлены на выполнение операций стохастического моделирования.

#### Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. - М.: Недра, 1981. - 288 с.
2. Маркшейдерское дело: Учебник для вузов / Д.Н. Оглоблин, Г.И. Герасименко, А.Г. Акимов и др. - 3-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, - 1981. - 704с.
3. Музафаров Ф.И. Исследование общих закономерностей процесса сдвижения толщи горных пород и земной поверхности методом объемных моделей для условий разработки пологих пластов Донбасса: Дисс...канд. техн. наук: 05.15.02 / ДПИ. - Донецк, 1965. - 32 с.

Рукопись поступила в редакцию 29.05.12

УДК 621-192

М.В. КИЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., А.В.ГУЦАЛ, аспірант  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

#### ДІАГНОСТИКА ЛОКАЛЬНИХ ДЕФЕКТІВ ТА РЕСУРСУ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

У статті розглядаються основні діагностичні ознаки, які виникають при раптових відмовах пар тертя роторних механізмів та методи розпізнавання технічного стану контактуючих поверхонь, розроблено технологію діагностування процесу розвитку та утворення локальних дефектів поверхонь тертя.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Робота сил тертя на поверхнях тертя, в першу чергу, залежить від коефіцієнту тертя і факторів, що визначають рівень сил тертя. З одного боку, зниження витрат на подолання сил тертя визначається досконалістю роторних механізмів і машин, що застосовуються у технічних системах, з іншого - постійною увагою персоналу експлуатації до запобігання впливу факторів, що можуть змінити вид і режими тертя і зношування працюючого механізму незалежно від його досконалості. Наведені факти показують, що подолання сил тертя і втрата ресурсу поверхонь тертя мають свої об'єктивні закономірності, але механізм цих втрат повинен стати зрозумілим і підлягати свідомому керуванню в експлуатації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Основним деградаційним явищем, що приводить до раптових відмов пар тертя в механічних передачах чи механізмах є розвиток локальних дефектів контактуючих поверхонь типу вищерблення або задиру. Існує дві групи методів діагностики названих дефектів [1,2]: 1 - орієнтується на вилучення діагностичної інформації з складових сигналів в зонах основних частот вимушених коливань; 2 - група орієнтується на інформацію в зонах власних частот механізму (вимірювальної системи). Обидва підходи базуються на тому факті, що виникнення і розвиток пошкоджень контактуючих поверхонь за часом напрацювання

**Збірник наукових праць**

*В і с н и к*  
*Криворізького національного університету*

**Випуск 32**

Редактор, коректор  
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В., Тумасова О.Г.  
Самойлюк О.Г.

Здано в набір 23.01.12. Підписано до друку 26.04.12 за рекомендацією Вченої Ради  
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 5.  
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 40,8 Тираж 120 прим.  
Замовл. № 4. Укр., рос.

*Адреса видавництва:*  
50027, Кривий Ріг, вул. XXII партз'їзду, 11  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ДВНЗ «Криворізький національний університет»  
2012. Вип. 32. 3-338.

ТОВ «Друкарня Оксан-Принт», пр. 200-річчя Кривого Рогу, 17  
Тел. (056) 440-21-63