

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**БУГАЙОВА НАТАЛІЯ АНАТОЛІЇВНА**



**УДК 622.1:622.83**

**ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ  
ЗРУШЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НЕОДНОРІДНОГО  
ПОРОДНОГО МАСИВУ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ  
ПОЛОЖИСТИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

**Спеціальність 05.15.09 - «Геотехнічна та гірнична механіка»**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2012**

## Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі маркшейдерської справи Державного ВНЗ «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**НАЗИМКО Віктор Вікторович**,  
професор кафедри маркшейдерської справи  
Державного ВНЗ «Донецький національний  
технічний університет» Міністерства освіти і науки,  
молоді та спорту України.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**НАЗАРЕНКО Валентин Олексійович**,  
професор кафедри маркшейдерії Державного ВНЗ  
«Національний гірничий університет» Міністерства  
освіти і науки, молоді та спорту України (м.  
Дніпропетровськ).

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**СЛАЦОВ Ігор Миколайович**,  
старший науковий співробітник відділу проблем  
розробки родовищ на великих глибинах Інституту  
геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
Національної академії наук України (м.  
Дніпропетровськ)

Захист відбудеться «16» листопада 2012 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному ВНЗ «НГУ» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного ВНЗ «НГУ» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19.

Автореферат розісланий «16» жовтня 2012 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У результаті виїмки вугільних пластів відбувається зрушення і деформування масиву гірських порід і земної поверхні, що викликає деформації об'єктів у зоні впливу підземної розробки і в окремих випадках може призводити до їх руйнування. У зв'язку з цим достовірний прогноз зрушень і деформацій земної поверхні має велике значення. У даний час основним нормативним документом для розрахунку очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні, є «Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом». Методика передбачає визначення розподілів зрушень і деформацій у вигляді гладких типових кривих. Однак інструментальні спостереження свідчать про те, що реальний розподіл зрушення і деформацій, а також положення границь мульди зрушення відхиляються від типових кривих у вигляді випадкового розкиду з певним інтервалом. Введення коефіцієнта переважання не підвищує достовірність прогнозу, оскільки не вказує величину довірчого інтервалу розкиду і закону його розподілу.

Встановлення закономірностей процесу зрушення земної поверхні з урахуванням стохастичної природи процесу руйнування породного масиву при підземній розробці є невирішеною задачею. В зв'язку з цим, вдосконалення методики визначення розрахункових величин зрушень і деформацій є актуальним науково-технічним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Результати роботи використані під час виконання держбюджетної теми у Державному ВНЗ «ДонНТУ» відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт МОНмолодьспорту України згідно з пріоритетним напрямком розвитку науки і техніки за темою «Наукові основи стохастичного прогнозу деформацій гірського масиву і земної поверхні від впливу гірничих робіт» (ДР 0111U002116, 2011-2012 рр.), де автор виконувала інструментальні спостереження, математичне моделювання, обробку та аналіз результатів, формулювання основних висновків.

**Метою роботи** є встановлення закономірності впливу неоднорідності властивостей породного масиву над очисною виробкою вугільного пласта на мінливість параметрів зрушення земної поверхні.

### **Основні задачі досліджень:**

1. Аналіз існуючих уявлень про процес зрушень гірських порід і земної поверхні над очисними виробками вугільних пластів, як про сукупність геомеханічних процесів, що відбуваються у підроблюваному масиві.

2. Розробка чисельної моделі та обґрунтування методики статистичної оцінки і визначення параметрів деформацій земної поверхні з урахуванням стохастичного характеру процесу зрушення масиву гірських порід.

3. Виконання стохастичного моделювання процесу зрушення і аналіз результатів з метою встановлення закономірності впливу неоднорідності

властивостей породного масиву над очисною виробкою вугільного пласта на мінливість параметрів зрушення земної поверхні.

4. Перевірка основних результатів моделювання з допомогою натурних інструментальних вимірювань.

5. Вдосконалення методики прогнозу зрушень і деформацій земної поверхні та її промислова перевірка.

**Основна ідея роботи** полягає в уявленні процесу зрушення як стохастичного процесу, що протікає у часі та просторі і характеризується випадковими механічними і геологічними параметрами.

**Об'єктом досліджень** є процес зрушення товщі гірських порід і земної поверхні при її підробці очисними вибоями.

**Предметом досліджень** є варіація параметрів очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні при її підробці очисними виробками.

**Методи досліджень.** При виконанні досліджень використовувались: метод інструментальних спостережень за зрушеннями земної поверхні за профільними лініями і площинною станцією, для оцінки достовірності результатів математичного моделювання; метод скінчених елементів для моделювання позамежного деформування і незворотних зрушень масиву гірських порід і земної поверхні; метод планування експериментів за методикою латинських квадратів для забезпечення необхідної достовірності результатів досліджень; метод стохастичного моделювання незворотних зрушень масиву гірських порід для встановлення закономірності і розкиду очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні; метод структурних спостережень тріщинуватого масиву гірських порід для переходу від властивостей у зразку до властивостей у масиві гірських порід.

#### **Основні наукові положення, що захищаються у дисертації.**

1. Варіація  $\Delta S$  величин параметрів деформацій земної поверхні у будь-якій точці вертикального перерізу мульди зрушень над очисною виробкою положистого вугільного пласта розподілена згідно усіченому нормальному закону, а діапазон розкиду є центрованою випадковою функцією відстані вздовж напівмульди, з границями довірчого інтервалу, що описуються зворотною параболічною залежністю типу  $\Delta S = \pm A / (B + C * x^2)$ , де  $x$  – відстань від центру мульди або від границь плаского дна у долях напівмульди, що дозволяє підвищити достовірність визначення розрахункових деформацій земної поверхні шляхом заміни одностороннього коефіцієнту перевантаження на двосторонній довірчий інтервал.

2. Величина варіації деформацій масиву гірських порід залежить на 30% від природної варіації деформаційних показників масиву і на 70% - від варіації його міцності, при цьому величина варіації параметрів деформацій земної поверхні на границі мульди зрушення складає 1/3 від їх максимальних значень у

центрі мульди зрушення, що дозволило обґрунтувати довірчий інтервал положення границі мульди зрушення, рівний  $\pm 17\%$  довжини напівмульди.

#### **Наукова новизна роботи:**

Вперше:

1) встановлено, що замість одностороннього коефіцієнта перевантаження необхідно використовувати довірчий інтервал природного розкиду деформацій масиву, що підробляється;

2) доведено, що огинаюча довірчого інтервалу у вертикальному перерізі має S-подібну форму і у центрі має значення приблизно у 3 рази більші, ніж на границях мульди;

3) встановлено, що розкид значень очікуваних деформацій масиву, що підробляється, на границі мульди має значення, яке відрізняється від нуля, а положення границі визначається довірчим інтервалом, ширина якого сягає 17% довжини напівмульди.

Уточнено:

1) внесок варіації механічних властивостей масиву гірських порід у частку розкиду значень його очікуваних деформацій;

2) коефіцієнти емпіричної залежності, що описує границі довірчих інтервалів розкиду величин параметрів деформацій;

3) закон розподілу варіації параметрів деформації масиву у будь-якій точці вертикального перерізу мульди зрушення.

Дістало подальший розвиток:

1) уявлення про зрушення товщі, що підробляється, як про стохастичний процес, інтенсивність якого змінюється відносно центру гірничої виробки.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні усіченого нормального розподілу варіації значень деформацій земної поверхні у будь-якій точці перерізу мульди зрушень, S-подібної огинаючої границі довірчого інтервалу цієї варіації вздовж вертикального перерізу мульди зрушень і довірчого інтервалу можливих положень її границі.

**Практичне значення роботи** полягає в удосконаленні методики визначення розрахункових зрушень і деформацій земної поверхні з урахуванням стохастичної природи процесу руйнування масиву гірських порід при його підробці довгими очисними вибоями. Практичні висновки дисертації використовуються при складанні проектів заходів охорони об'єктів на земній поверхні, що підробляються (залізниць, будівель, споруд, теле-і радіовеж, природних об'єктів) регіону Українського Донбасу.

**Обґрунтованість та достовірність** наукових положень, висновків і результатів забезпечується вибором сучасного потужного методу, заснованого на скінчених елементах (МСЕ) як інструменту моделювання; необхідною і достатньою кількістю натурних спостережень, за якими отримані вихідні дані для побудови огинаючих довірчих інтервалів і знаходження закону розподілу;

використанням коректного переходу від властивостей у зразках до властивостей масиву гірських порід; встановленням емпіричних залежностей огинаючої довірчого інтервалу і числових параметрів законів розподілу механічних властивостей масиву гірських порід, варіації параметрів деформації з надійністю не менше 95%.

**Реалізація результатів досліджень.** Розроблена дисертантом удосконалена методика прогнозування розрахункових зрушень і деформацій земної поверхні використовувалася на ш/у «Покровське» (магістральна залізнична дорога, гілки залізничної дороги, які обслуговують саму шахту).

**Особистий внесок здобувача** полягає у визначенні мети роботи, формулюванні задач досліджень і наукових положень. Автор виконав аналіз існуючих уявлень про процес зрушень, розробив і обґрунтував модель і методи для визначення параметрів деформацій земної поверхні з урахуванням стохастичної природи процесу зрушення, виконав стохастичне моделювання та аналіз результатів, провів натурні інструментальні вимірювання та спостереження за процесом зрушення земної поверхні. Автором вдосконалена методика визначення розрахункових зрушень і деформацій земної поверхні при її підробці очисними вибоями.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення роботи обговорювалися і отримали схвалення на науково-практичних конференціях: «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій» (Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «НГУ», 2009 р.), «Геотехнології XXI століття» (Україна, Донецьк, Державний ВНЗ «ДонНТУ», 2010 р.), «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій» (Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «НГУ», 2010 р.), «Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених» (Україна, Донецьк, Державний ВНЗ «ДонНТУ», 2010 р.), «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій» (Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «НГУ», 2011 р.), «Маркшейдерское обеспечение рационального использования и охраны недр» (Росія, Новочеркаськ, Державний ВНЗ «НПП», 2011 р.), «Опыт прошлого – взгляд в будущее» (Росія, Тула, Державний ВНЗ «ТулДУ», 2011 р.), «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій» (Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «НГУ», 2012 р.), «Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених» (Україна, Донецьк, Державний ВНЗ «ДонНТУ», 2012 р.).

**Публікації.** Основні результати роботи наведені у 14 публікаціях, у тому числі 6 статей - у фахових виданнях, 8 - у збірниках матеріалів наукових конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 169 найменувань на 20 сторінках і 5 додатків на 34 сторінках. Основний текст викладено на 147 сторінках машинописного тексту, робота містить 114 рисунків, 18 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 224 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і задачі досліджень, сформульовані наукові положення, які виносяться на захист, висвітлене наукове і практичне значення отриманих результатів досліджень, показаний особистий внесок автора та наведена інформація стосовно апробації та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** наведено аналіз існуючих уявлень щодо процесу зрушення та методик розрахунку деформацій земної поверхні. Аналіз показав, що для розрахунку зрушення і деформацій земної поверхні застосовується широкий спектр моделей і методів заснованих на емпіричному підході, методи функцій впливу, аналітичних, чисельних методах. Найбільш часто застосовують галузеві «Правила підробки...», згідно з якими зрушення і деформації прогнозують за допомогою гладких типових кривих, отриманих емпіричним шляхом. Проте порівняння прогнозних і фактичних зрушень і деформацій свідчить про їх значний розкид, який не можна повністю врахувати введенням так званого коефіцієнта перевантаження. На сьогоднішній день не встановлена величина довірчого інтервалу розкиду величин зрушень і деформацій, а також положення границь мульди зрушення.

У більшості випадків дослідники намагаються пояснювати випадкові відхилення розрахункових величин зрушень від фактичних вимірних похибками методики вимірювань, і, зокрема, впливом відстані між реперами на результати визначення таких похідних осідань, як нахили, кривизна і так далі. Проте справжня причина розкиду криється в стохастичній природі зрушень масиву гірських порід, що виявляється в дискретному характері руйнування і незворотних зрушеннях товщі, що підробляється. Нами доведено, що більше ніж 80% усієї варіації величин зрушень і деформацій залежить від механічних властивостей масиву гірських порід.

Таким чином, забезпечення достовірності прогнозу розрахункових зрушень і деформацій земної поверхні продовжує залишатися актуальним завданням.

У розділі визначено мету і основні завдання досліджень, які допоможуть в удосконаленні методики прогнозування розрахункових зрушень і деформацій земної поверхні при її підробці очисними вибоями.

У **другому розділі** розроблена методика стохастичного моделювання процесу зрушення товщі і обґрунтовані метод скінчених елементів як основного інструменту моделювання, граничні умови, початковий стан моделі, а також закони випадкової варіації механічних властивостей масиву гірських порід.

У роботі метод скінчених елементів (МСЕ) вперше застосовується для дослідження впливу стохастичних факторів на випадковий розкид величин зрушень і деформацій земної поверхні. При розрахунку НДС товщі гірських

порід необхідно задати її механічні властивості в масиві. Однак міцнісні і деформаційні властивості гірських порід в переважному випадку відомі лише у зразку. При переході від властивостей у зразку до властивостей масиву виникають додаткові невизначеності обумовлені тріщинуватістю, а величина розкиду механічних показників збільшується. У зв'язку з чим необхідно досліджувати параметри тріщинуватості.

За параметри тріщинуватості вимірювалися азимут лінії падіння тріщин, кут падіння, ширина розкриття тріщини і відстань між тріщинами. Всі ці показники вимірювалися для 150-400 тріщин на кожній представницькій ділянці десяти вугільних шахт Українського Донбасу. На підставі узагальнення цих даних були побудовані стереографічні проєкції розподілу тріщинуватості у вугільному пласті і вміщуючих породах і виділені основні системи тріщин, які обумовлюють розкид механічних показників масиву гірських порід.

Для визначення модулів деформації ( $E_{//}$ ,  $E_{\perp}$ ) в масиві використовуються наступні формули проф. Рупнейта К.В.:

$$E_{\perp} = \frac{E_1}{1 + \sum_1^k \eta_i (1 - \sin^4 \Theta)}; \quad E_{//} = \frac{E_1}{1 + \sum_1^k \eta_i (1 - \cos^4 \Theta)};$$

де  $E_1$  – модуль деформації зразка породи, 1-10 ГПа;  $\Theta$  – кут падіння;  $\eta = \frac{\delta}{\xi \cdot h}$ ,  
 $\delta$  – товщина розкриття;  $h$  – відстань між тріщинами;  $\xi = 3 \times 10^{-4}$  – величина безрозмірної площі скальних контактів.

Відношення зчеплення породи у масиві  $C_m$  до зчеплення у зразку  $C_o$  представляється у вигляді відомої емпіричної залежності:

$$C_m = C_o \left( \frac{H}{h} \right)^{-0,6}$$

де  $H$  – глибина розробки;  $h$  – відстань між тріщинами;  $C_o$  – 2-10 МПа.

У результаті були встановлені гістограми розкиду модуля деформації і зчеплення для вугільного пласта і вміщуючих порід. Гістограми не протирічають логнормальному закону розподілу, що узгоджується з даними проф. Сдвижкової О.О. і проф. Шашенка О.М., отриманими для межі міцності породи на стиск.

Для побудови стохастичної моделі МСЕ були прийняті наступні гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови. Потужність вугільного пласта становить близько 1,7 м, породи середньої обрушаємості, класу  $A_1$ ,  $A_2$ . Породи представлені переміжними шарами алевролітів і пісковиків середньої міцності. Залягання порід горизонтальне. Міцність порід у межах 40-70 МПа. Породи помірно обводнені. Спосіб управління покрівлею здійснюється шляхом її повного обвалення. Вугільний пласт відпрацьовується за стовповою системою



розробки, швидкість посування лави 100-150 м/міс. Марка вугілля К. Зовнішні розміри моделі 1090x790x310 м (рис. 1). Глибина розробки 210 м, довжина лави 290 м, довжина виїмкового стовпа 580 м, тобто дві довжини лави. Потужність наносів 60 м, середня потужність шарів 10-15 м, модуль деформації 0,001-15 ГПа, коефіцієнт Пуасона 0,1-0,5, кут внутрішнього тертя 10-50 град, зчеплення 0,001-15 МПа, щільність 2500 кг/м<sup>3</sup>.

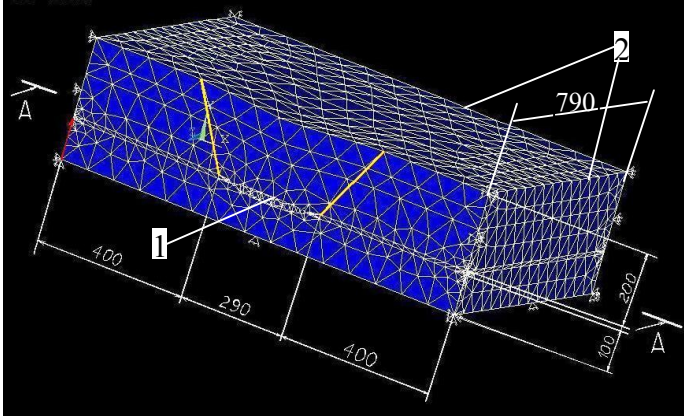


Рис. 1. Модель масиву для розрахунку зрушень земної поверхні у тривимірному вигляді з отриманою мульдою зрушення: 1 - вироблений простір; 2 - контур моделі

З урахуванням заданих глибини розробки і довжини лави забезпечується гранична умова на переході від неповної до повної підробки земної поверхні. Це дозволило врахувати широкий діапазон можливих геомеханічних станів гірського масиву.

Для підбору властивостей порід гірського масиву використовується метод планування експерименту на основі латинських квадратів, який полягає у виборі найбільш оптимальних сполучень факторів і зводить у даному випадку кількість дослідів до 25.

Порівняння осідань земної поверхні у головному перерізі мульди зрушення навхрест простягання побудованої за «Правилами підробки...» з мульдою одержаною для моделі №16 показує, що різниця не перевищує 11%. Це дозволяє у подальшому використовувати дану модель як основу для стохастичного моделювання. Похибка визначення параметрів зон опорного тиску, повних зрушень і зон розвантажень на моделі №16 не перевищує 24%, що свідчить про достовірність параметрів моделі.

У **третьому розділі** проведено стохастичне моделювання процесу зрушення гірського масиву, досліджено розкиди зрушень, деформацій та місця

положення границь мульди зрушень і виконана перевірка результатів моделювання.

У кожному кінцевому елементі згідно отриманим у розділі 2 законам розподілу випадково змінюються механічні властивості (модуль деформації, коефіцієнт Пуасона, зчеплення, кут внутрішнього тертя, рис. 2). При відносній похибці рівній  $\delta=0,05-0,1$  і коефіцієнті варіації  $\bar{V}=0,3$ , кількість дослідів становить  $n = \gamma^2 \bar{V}^2 / \delta^2 = 8-32$  при довірчій ймовірності  $\gamma=95\%$ .

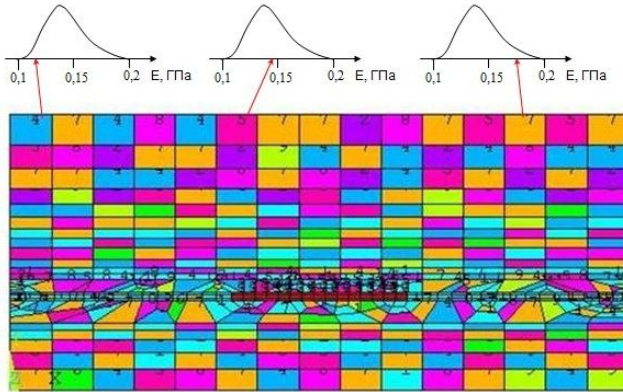


Рис. 2. Розріз А-А модельованої товщі гірських порід із зазначенням номерів груп елементів для стохастичного моделювання

Нами вперше виконана оцінка впливу кожного з основних факторів окремо. Було виконано по 20 запусків моделі при окремій варіації модуля деформації, коефіцієнта Пуасона, зчеплення, кута внутрішнього тертя і незмінному середньому значенні решти параметрів.

На рис. 3 показаний приклад розподілів розкиду осідань земної поверхні при зміні зчеплення. Розкид відхилень осідань земної поверхні від середнього значення осідань у головному перерізі мульди при зміні окремо кожної фізико-механічної властивості складає від 20% (для варіації модуля деформації) до 140% (для варіації кута внутрішнього тертя).

Аналіз отриманих графіків показує, що вони мають приблизно симетричний вид, максимальні значення розкиду осідань, нахилів і кривизни спостерігаються у центрі мульди зрушення, а мінімальні на крайових ділянках мульди. Така ж залежність зберігається і при одночасній варіації всіх фізико-механічних властивостей масиву. При цьому форма огинаючої розкидів має S-подібний вигляд і описується наступною залежністю:

$$\Delta S = \pm A / (B + C * x^2) , \quad (1)$$

де  $\Delta S$  - амплітуда розкиду;  $A, B, C$  - емпіричні коефіцієнти, визначаються методом найменших квадратів з генеральної статистичної виборки, яка складається з 595 точок, побудованих на основі стохастичного моделювання, власних натурних спостережень і результатів інших дослідників;  $x$  - відстань від центру мульди або від границь плаского дна, у долях напівмульди.

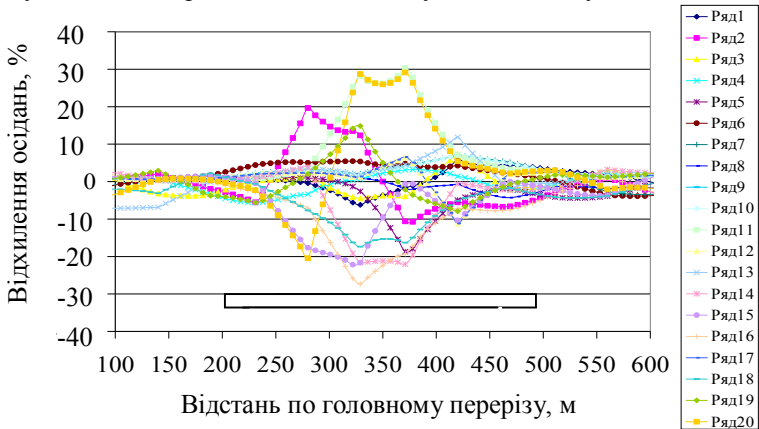


Рис. 3. Розподіл відхилень осідань земної поверхні від середніх осідань з випадковими відхиленнями зчеплення

Слід зазначити, що природна варіація міцнісних властивостей гірських порід надає більший вплив (70,1%) на розкид величин осідань, нахилів і кривизни, ніж зміни деформаційних показників (29,9%).

Щодо розкиду положення границі мульди з'ясувалось, що його середнє квадратичне значення дорівнює  $\pm 17\%$  від довжини напівмульди (рис. 4).

Параметри розкидів деформацій земної поверхні і положення границі мульди були підтвержені для умов неповної підробки земної поверхні (довжина лави 150 м, а глибина розробки - 800 м), що свідчить про високу достовірність.

У **четвертому розділі** була виконана перевірка основних результатів моделювання за допомогою натурних інструментальних вимірів у шахтоуправлінні ім. Кірова при підробці земної поверхні 1-ю східною лавою пласта  $h_{10}^B$ .

Спостережна станція складається з трьох профільних ліній і невеликої ділянки з розташуванням реперів по площі (рис. 5).

Встановлено, що відхилення осідань приймає максимальне значення над центром мульди зрушення, а при переході до крайових ділянок величини відхилень зменшуються. Це якісно узгоджується з результатами комп'ютерного моделювання. Такі ж закономірності отримані для нахилів і кривизни.



Для підвищення достовірності основних наукових результатів, що захищаються у дисертації був проведений аналіз опублікованих результатів незалежних інструментальних спостережень виконаних іншими авторами на 22 профільних лініях, 15 спостережних станціях у широкому діапазоні гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов. При цьому потужність пласта становила 0,55-3,5 м, ширина виробленого простору - 60-1050 м, глибина розробки вугільного пласта - 80-1000 м, кут падіння - 5-18 °.

Встановлено, що максимальний розкид осідань, нахилів, кривизни від розрахункових у центрі мульди був відповідно у 2,5; 1,5; 2,5 рази більше, ніж на границях мульди, при цьому співвідношення СКП відхилень осідань, нахилів і кривизни у центрі і на границях становить 26%, що розходиться з результатами стохастичного моделювання не більше ніж 15%. Це дозволило об'єднати всі дані в одну статистичну представницьку вибірку.

У **п'ятому розділі** виконано удосконалення методики розрахунку зрушень і деформацій земної поверхні та її перевірка у промислових умовах.

У таблиці 1 наведені емпіричні коефіцієнти, які використовуються у залежності (1) для опису S-подібних форм довірчих двосторонніх інтервалів розкиду.

Таблиця 1

**Підсумкова таблиця емпіричних коефіцієнтів для одного СКП**

№ з/п	Вид деформації	Емпіричні коефіцієнти		
		A	B	C
1	Осідання	2,95	9	20
2	Нахили	5	9	20
3	Кривизна	10,7	9	20

На рис. 6 показаний графік розподілу варіації осідань від очікуваних значень у вертикальному перерізі мульди зрушення, отриманий на підставі статистичної обробки остаточної генеральної вибірки, описаної у розділі 4. Для порівняння на графіку пунктирною лінією показано допустиме значення природного розкиду осідань і деформацій встановлені за «Правилами підробки...» і суцільними S-подібними кривими - довірчі границі згідно запропонованої методики.

Виявилося, що сумарна величина поправочних коефіцієнтів вздовж напівмульди при використанні «Правил підробки...» для осідань складає 2,2, а за запропонованою методикою дорівнює  $\pm 2,36$ . Якщо розглядати лише поправки, які є більше 0, то загальна розбіжність між поправками для осідань не перевищує 8%, для нахилів -9%, а для кривизни -3%. Проте якісний розподіл поправок по довжині мульди істотно відрізняється, що сприяє підвищенню достовірності визначення розрахункових показників зрушень земної поверхні при її підробці.

Так величина максимального розкиду для осідань становить  $\pm 32\%$ , для нахилів  $\pm 55\%$ , а для кривизни  $\pm 118\%$  у середній частині мульди. Причому на

границі мульди зрушень всі показники складають приблизно третину від максимальних, які спостерігаються у центрі мульди.

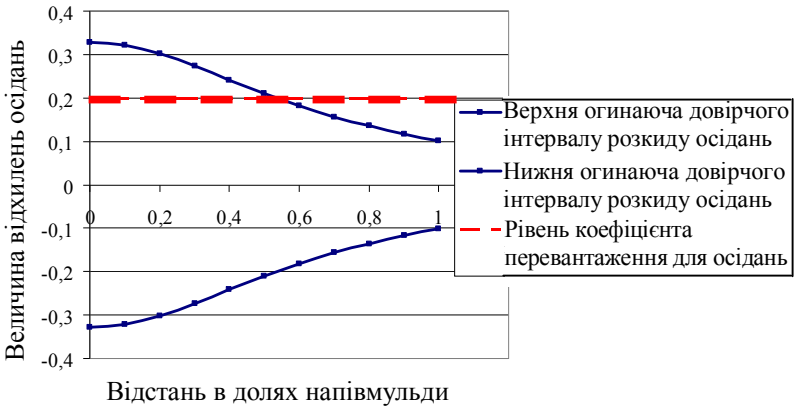


Рис. 6. Графік допустимих відхилень осідань, встановлених за запропонованою методикою і за методикою викладеною в «Правилах підробки...»

Запропонована методика використовувалася для підрахунку небезпечних деформацій під час підробки траси Донецьк-Ростов 1-ю східною лавою шахтоуправління ім. Кірова. У районі шламонакопичувача ТОВ «Силур» під трасою проходить водозливний канал. Згідно з «Правил підробки...» для даного об'єкта небезпечними є горизонтальні деформації, допустимий показник яких дорівнює  $6 \times 10^{-3}$ .

Характер розподілу горизонтальних деформацій і розрахунок значень їх розкиду проводиться за наступною методикою:

1. Обчислюємо розподіли горизонтальних деформацій  $\varepsilon_0$  згідно «Правил підробки...». На рис. 7 цей розподіл показано суцільною лінією.

2. Вводимо поправку  $\Delta\varepsilon$  у величини горизонтальних деформацій за формулою:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \pm \Delta\varepsilon, \quad \Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_{0\max} * \Delta}{100}$$

де  $\Delta$  - величина стохастичного розкиду горизонтальних деформацій, обумовлена у процентах, обчислюється за формулою (1).

У підсумку на відміну від нормативної методики замість одностороннього коефіцієнта перевантаження використовується двосторонній довірчий інтервал.

З рис. 7 видно, що при використанні «Правил підробки...» горизонтальні деформації вздовж всієї напівмульди не перевищують допустимих значень, а за

запропонованою автором методикою велика ймовірність (95%), що траса буде зруйнована у ході її підробки на ділянці 0-0,4 довжини напівмульди.

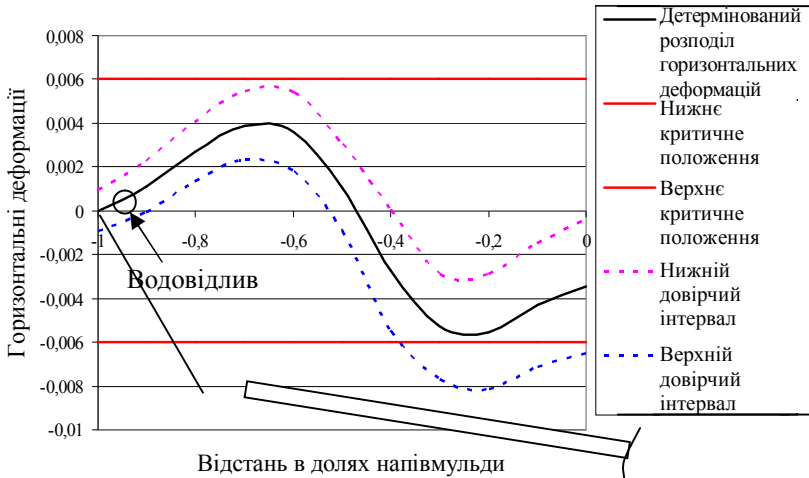


Рис. 7. Розподіл горизонтальних деформацій у напівмульді по «Правилах підробки ...» і за запропонованою методикою

З рис. 7, видно, що згідно «Правил підробки...» труба знаходиться у безпечній зоні, тому що горизонтальні деформації мають стискаючий характер і не перевищують рівня 0,0005, який безпечний для бетону.

Однак, за запропонованою автором методикою у місці закладення водовідливної труби можуть виникати деформації розтягування, які з ймовірністю 10-15% можуть доходити до 0,001, а така деформація розтягування є критичною для швів і ділянок місцевих послаблень. Це сприятиме розмоканню ґрунтової основи траси і може спровокувати усадку траси.

Таким чином, введення поправки у деформації за стохастичність дозволяє збільшити надійність прогнозу деформації земної поверхні та захисту підроблюваних об'єктів, а також підвищити безпеку їх експлуатації.

Розроблена методика використана при розрахунку деформацій земної поверхні і підробці залізничних шляхів у районі станції Благодатне південною корінною лавою, пласта  $d_4$  ш/у «Покровське». Це дозволяє підвищити надійність і безпеку експлуатації рухомого складу. Очікуваний економічний ефект від використання даної методики становить 120-300 тис. грн./рік.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій на основі вперше встановлених закономірностей процесу деформацій породного масиву з урахуванням стохастичної природи процесу його руйнування при підземній розробці, вирішена актуальна науково-технічна задача, яка полягає в удосконаленні методики та підвищенні надійності визначення розрахункових деформацій земної поверхні при її підробці очисними вугільними вибоями, що має важливе значення для підтримання безпечної експлуатації об'єктів, що підробляються очисними роботами.

Основні наукові і практичні результати дисертації полягають у наступному:

1. Аналіз існуючих нормативних документів свідчить про те, що вони прогнозують зрушення та деформації земної поверхні за допомогою гладких типових кривих. Проте при порівнянні прогнозних і фактичних зрушень і деформацій виникає розкид, який не можна повністю врахувати введенням коефіцієнта перевантаження. На сьогоднішній день не встановлена величина довірчого інтервалу розкиду величин зрушень і деформацій, а також положення границь мульди зрушення.

2. Встановлено, що варіація механічних властивостей масиву гірських порід обумовлює більше 80% розкиду зрушень і деформацій земної поверхні. Тому врахування варіації механічних властивостей необхідно і достатньо для того щоб пояснити практично всю варіацію природного випадкового розкиду величин зрушень і деформацій.

3. Значення модуля деформації у товщі порід у 1,2-5 разів менше значень модуля деформації у зразку. Величини зчеплення у товщі порід можуть бути у 100 разів менше значень зчеплення у зразку, а у вугільному пласті менше у 1000 раз значень у зразку. У зв'язку з цим діапазон розкиду механічних властивостей масиву гірських порід досягає сотень відсотків, що і є основною причиною природної варіації осідань і деформацій земної поверхні.

4. Доведено, що варіація осідань і деформацій земної поверхні при її підробці одиночною лавою на 30% визначається природним розкидом деформаційних властивостей гірських порід і на 70% - міцнісних. З геомеханічної точки зору це пояснюється тим, що при деформуванні масиву гірських порід у пружному стані розподіл зсувів і їх швидкостей не має розривів, а їхні похідні мають кінцеву величину. Після переходу окремих ділянок масиву гірських порід у позамежний стан, розподіли зсувів зазнають на границях зон пружного і позамежного стану порід розриви, а деформації змінюються стрибкоподібно або стають нескінченними (або принаймні дуже великими).

5. Величина розкиду осідань і деформацій земної поверхні на границі мульди зрушень складає одну третину від максимальних значень у її центрі, а



середнє квадратичне відхилення місця положення границі дорівнює  $\pm 17\%$  довжини напівмульди.

6. Варіація  $\Delta S$  величин зрушень і деформацій земної поверхні над очисною виробкою положистого вугільного пласта розподілена згідно усіченому нормальному закону у будь-якій точці перерізу мульди зрушень, а діапазон розкиду є центрованою випадковою функцією відстані вздовж напівмульди, з границями довірчого інтервалу, що описуються зворотною параболічною залежністю типу  $\Delta S = \pm A / (B + C * x^2)$ , де  $x$  – відстань від центру мульди або від границь плаского дна у долях напівмульди.

7. Удосконалена методика розрахунку зрушень і деформацій земної поверхні, яка відрізняється тим, що замість коефіцієнта перевантаження використовується довірчий інтервал розкиду величин зрушень і деформацій. Показано, що поправка, яка вводиться за рахунок нової методики істотна і її врахування підвищує достовірність розрахункових деформацій і проєктованих заходів охорони об'єкта. Розроблена методика використана при розрахунку деформацій земної поверхні і підробці залізничних шляхів у районі станції Благодатне південною корінною лавою, пласта  $d_4$  ш/у «Покровське». Це дозволяє підвищити надійність і безпеку експлуатації рухомого складу.

8. Очікуваний економічний ефект від використання даної методики становить 120-300 тис. грн./рік.

### **Основні результати досліджень опубліковані у наступних роботах:**

1. Яйцов А.А. Результаты оценки условий поддержания подготовительных выработок в условиях шахты Красноармейская-западная №1 / А.А. Яйцов, О.Д. Кожушок, В.А. Болбат, Н.А. Бугаёва // Проблемы гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк. –2007. – Вип.15. – С. 19-32.

2. Бугаёва Н.А. Особенности распределение стохастических отклонений оседаний земной поверхности при её подработке одиночной лавой / Н.А. Бугаёва, В.В. Назимко // Проблемы гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк. –2008. –Вип.16. – С. 194-237.

3. Бугаёва Н.А. Определение параметров деформаций земной поверхности по стохастическим мульдам оседания / Н.А. Бугаёва, Е.В. Яремчук, В.В. Назимко // Проблемы гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк. –2009. – Вип.17. – С. 192-225.

4. Бугаёва Н.А. Установление особенностей распределения отклонений оседаний земной поверхности при выполнении натурных измерений / Н.А. Бугаёва, Н.Н. Грищенко, И.В. Назимко, А.И. Прокопенко, Д.Н. Сотников, С.М. Яковенко, А.В. Нечипорук, В.В. Назимко // Проблемы гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк. –2010. –Вип.18. – С. 38-56.

5. Бугаёва Н.А. Обоснование методики учета стохастической неопределенности при переходе от свойств образца к свойствам массива / Н.А. Бугаёва // Проблеми гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк. –2011. – Вип.19. – С. 71-87.
6. Бугаёва Н.А. Научные основы стохастического прогноза деформаций земной поверхности при её подработке / Н.А. Бугаёва // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Гірничо-геологічна» / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк. - 2011. – Вип.№ 13 (178). – С. 63-69.
7. Бугаёва Н.А. Обоснование модели и метода для определения параметров деформаций земной поверхности для стохастических мульд оседаний / Н.А. Бугаёва // Доповіді міжнародної науково-практичної конференції студентів, молодих вчених «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій». - Дніпропетровськ, НГУ. - 2010. – С. 17-24.
8. Сотников Д.Н. Обоснование проекта наблюдательной станции для исследования кластерного механизма сдвижения земной поверхности / Д.Н. Сотников, Н.А. Бугаёва // Доповіді міжнародної науково-практичної конференції студентів, молодих вчених «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій». - Дніпропетровськ, НГУ. - 2010. – С. 25-32.
9. Макарова А.Н. Исследование корреляционной функции деформации земной поверхности в пределах мульды сдвижения / А.Н. Макарова, Н.А. Бугаёва. // Доповіді міжнародної науково-практичної конференції студентів, молодих вчених «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій». - Дніпропетровськ, НГУ. - 2010. – С. 39-43.
10. Бугаёва Н.А. Особенности распределения отклонений параметров деформаций земной поверхности для стохастических мульд оседаний / Н.А. Бугаёва // Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених: Матеріали V науково-практичної конференції. м. Донецьк, 25-27 травня 2010 р. - Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки. - 2010. – С. 19-23.
11. Бугайова Н.А. Дослідження відхилень осідань земної поверхні при виконанні натурних вимірів / Н.А. Бугайова // Доповіді міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Маркшейдерське забезпечення геотехнологій». - Дніпропетровськ, НГУ. - 2011. – С. 29-34.
12. Бугаёва Н.А. Исследование особенностей распределения стохастических отклонений оседаний земной поверхности / Н.А. Бугаёва // Маркшейдерское обеспечение рационального использования и охраны недр: межвуз. сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). - 2011. – С. 15-21.
13. Антипенко А.В. Особенности распределения отклонений оседаний и деформаций земной поверхности при подземной подработке / А.В. Антипенко, Н.А. Бугаёва // «Опыт прошлого – взгляд в будущее» - Международная научно-

практическая конференция молодых ученых и студентов. – ТулГУ, Тула. – 2011. – С. 13-17.

14. Бугаёва Н.А. Усовершенствование методики прогноза параметров деформации земной поверхности / Н.А. Бугаёва // Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених: Матеріали VI науково-практичної конференції. м. Донецьк, 24-26 квітня 2012 р. - Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки. - 2012. – С. 57-61.

Особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві: [1] - збір вихідних даних про випробування механічних властивостей гірських порід по картах міцності покривлі і ґрунту, створення бази даних, у якій наведено відомості про структуру вміщуючих порід; [2, 3] - аналіз фізико-механічних властивостей гірських порід, вибір і обґрунтування методу та моделі для виконання стохастичного моделювання, виконання моделювання, обробка та аналіз результатів комп'ютерного моделювання, формулювання основних висновків; [4, 8] - вибір розташування спостережної станції для виконання натурних вимірів, виконання інструментальних спостережень, обробка та аналіз результатів; [9, 13] - збір вихідних даних по розподілу зрушень і деформацій земної поверхні вздовж профільних ліній спостережних станцій, обробка та аналіз результатів.

## АНОТАЦІЯ

**Бугайова Н.А. Геомеханічне обґрунтування параметрів зрушення земної поверхні неоднорідного породного масиву при відпрацюванні положистих вугільних пластів. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 - «Геотехнічна та гірничя механіка». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2012.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених усіченого нормального розподілу варіації значень деформації земної поверхні у будь-якій точці перерізу мульди зрушень, S-подібної огинаючої границь довірчого інтервалу цієї варіації вздовж вертикального перерізу мульди зрушень і довірчого інтервалу можливих положень її границі, вирішена актуальна науково-технічна задача, яка полягає в удосконаленні методики та підвищенні надійності визначення розрахункових деформацій земної поверхні при її підробці очисними вугільними вибоями, що має важливе значення для підтримання безпечної експлуатації підроблених об'єктів.

Удосконалено методику визначення розрахункових зрушень і деформацій земної поверхні з урахуванням стохастичної природи процесу руйнування

масиву гірських порід при її підборці довгими очисними вибоями. Практичні висновки дисертації використовуються при складанні проектів заходів охорони підроблюваних об'єктів на земній поверхні (залізниць, будівель, споруд, теле-і радіовеж, природних об'єктів) на шахтах Українського Донбасу.

**Ключові слова:** зрушення гірського масиву і земної поверхні, метод скінчених елементів, стохастичне моделювання, фізико-механічні властивості гірських порід, інструментальні спостереження.

## АННОТАЦІЯ

**Бугаєва Н.А. Геомеханическое обоснование параметров сдвижения земной поверхности неоднородного породного массива при отработке положих угольных пластов. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 - «Геотехническая и горная механика». – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2012.

Диссертация посвящена повышению достоверности прогноза расчетных сдвижений и деформаций земной поверхности от очистных выработок за счет совершенствования методики прогнозирования.

Сравнение расчетных и фактических сдвижений, деформаций земной поверхности, а также границ мульды свидетельствует об их значительном разбросе, который характеризуется определенным интервалом. Установлено, что не менее чем на 80% на данный разброс сдвижений и деформаций влияет вариация механических свойств массива горных пород.

Для изучения процесса сдвижения массива горных пород и земной поверхности впервые при решении подобной задачи использовался метод конечных элементов (МКЭ) как инструмент для стохастического моделирования. Для подготовки исходных данных были выполнены структурные наблюдения за трещиноватостью горных пород на шахтах Украинского Донбасса. В результате построены гистограммы разброса прочностных и деформационных свойств в массиве и определены законы распределения данных свойств. С помощью планируемого эксперимента на основании латинских квадратов найдены оптимальные параметры расчетной модели для стохастического моделирования.

В результате исследований установлено, что вариация сдвижений и деформаций земной поверхности на 30% определяется естественным разбросом деформационных свойств и на 70% - прочностных.

Установлено, что величина разброса сдвижений и деформаций земной поверхности на границе мульды сдвижений составляет одну треть от максимальных значений наблюдаемых в центре мульды сдвижения. Кроме того, обоснован

доверительный интервал положения границы мульды сдвижений, равный  $\pm 17\%$  длины полумульды.

Для подтверждения достоверности результатов компьютерного моделирования автором были выполнены инструментальные измерения сдвижений земной поверхности на специальной наблюдательной станции.

В результате исследований получены эмпирические зависимости, которые описывают границы доверительных интервалов разброса значений сдвижений и деформаций, а также закон распределения вариации параметров деформации земной поверхности.

Разработанная методика прошла проверку в промышленных условиях при составлении проекта подработки железнодорожных путей в районе станции Богодатное южной коренной лавой, пласта  $d_4$  ш/у «Покровское».

**Ключевые слова:** процесс сдвижений горного массива и земной поверхности, метод конечных элементов, стохастическое моделирование, физико-механические свойства горных пород, инструментальные измерения.

## SUMMARY

**Bugayova N.A. Geomechanical of parameter changes the earth's surface inhomogeneous rock mass when mining coal seams mild. – Manuscript.**

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.15.09 - "Geotechnical and rock mechanics." - State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2012.

The thesis is completed research work, in which the basis set truncated normal distribution of variation values of deformation of the earth surface in anywhere sectional trough shifts, S-shaped envelope boundaries of the confidence interval of variation along the vertical section trough shifts and confidence interval of possible positions boundary, the actual scientific-technical problem, which is to improve methods and increase reliability determine the design ground surface deformations in its forgery cleaning coal face, which is essential for maintaining safe operation undermined objects.

The method of determining the calculated shifts and deformations of the earth's surface, taking into account the stochastic nature of the process of destruction of the rock mass during its long pidbortsi longwall. Practical conclusions of the thesis are used in drafting measures to protect undermined objects on the earth's surface (railways, buildings, television and Funkturm, natural objects) on the Ukrainian Donbass mines.

**Keywords:** process changes the rock mass and the earth's surface, finite element method, stochastic modeling, physical and mechanical properties of rock, instrumental measurements.

Бугайова Наталія Анатоліївна

ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗРУШЕННЯ ЗЕМНОЇ  
ПОВЕРХНІ НЕОДНОРІДНОГО ПОРОДНОГО МАСИВУ ПРИ  
ВІДПРАЦЮВАННІ ПОЛОЖИСТИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

(Автореферат)

Підписано до друку \_\_. \_\_. 2012. Формат 60×90/16  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. \_\_\_\_  
Обл.-вид. арк. \_\_\_\_. Тираж 120 прим. Зам. № \_\_\_\_.

Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»  
83001, Україна, м. Донецьк, вул. Артема, 58.