

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»**

**ОЛЕКСЮК Андрій Борисович**



**УДК 622.831**

**ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ  
ПОХИЛИХ ВИРОБОК ПРИ ВІДРОБЦІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

**Спеціальність 05.15.04 – “Шахтне та підземне будівництво”**

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

**Дніпропетровськ-2011**

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана на кафедрі будівництва і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ)

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Гапєєв Сергій Миколайович,**  
доцент кафедри будівництва і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Бузило Володимир Іванович,**  
декан гірничого факультету, професор кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук, доцент  
**Новіков Олександр Олегович,**  
професор кафедри розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Захист дисертації відбудеться “01” липня 2011 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ) (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий “01” червня 2011 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вугілля в Україні є одним з небагатьох енергоносіїв, запаси якого є в достатній кількості. Гірничо-геологічні умови залягання вугільних родовищ є складними, глибина їх розробки нерідко перевищує 1000 м. Видобуток газонасичених пластів вугілля супроводжується підвищенням температури породного масиву і такими проявами гірського тиску як здимання порід підшоши виробок, раптові викиди вугілля, породи, газу, вивалоутворення. Усе це зумовлює застосування специфічних систем розробки, посилене провітрювання гірничих виробок, дотримання необхідних відповідно до «Правил безпеки...» поперечних перерізів вентиляційних і транспортних магістралей. Перераховані заходи вимагають чималих витрат, які в результаті збільшують собівартість вугілля, що видобувається, і знижують його конкурентоспроможність відносно інших енергоносіїв.

Знизити витрати на підтримування виробок і підвищити їх стійкість можна за рахунок вибору раціонального місця розташування, що потребує в кожному конкретному випадку відповідних досліджень геомеханічних процесів, що відбуваються при проведенні та експлуатації виробок.

Таким чином, встановлення закономірностей перерозподілу напружено-деформованого стану навколо виробок при відповідному їх розташуванні в просторі, що дозволить підвищити їх стійкість та знизити витрати, пов'язані з їх експлуатацією, є актуальною науково-технічною задачею, що має велике народногосподарське значення

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконана відповідно до програми науково-дослідних робіт Національного гірничого університету, яка пов'язана з держбюджетною темою ГП-410 «Геомеханічне обґрунтування підземної технології інтенсивного видобування вугілля з урахуванням особливостей геологічного середовища» (№ держреєстрації 0108U000541).

**Мета досліджень** полягає в обґрунтуванні місця закладення основних відкочувальних і вентиляційних магістралей в складноструктурному шаруватому вуглепородному масиві в гірничо-геологічних умовах шахти ім. В.М. Бажанова.

**Основна ідея досліджень** полягає в урахуванні напружено-деформованого стану складного істотно неоднорідного вуглепородного масиву при обґрунтуванні параметрів схем розкриття і підготовки вугільних пластів на шахті ім. В.М. Бажанова.

**Об'єктом досліджень** є стійкість основних підготовчих виробок.

**Предмет досліджень** – параметри напружено-деформованого стану шаруватого складноструктурного вуглепородного масиву навколо основних підготовчих виробок.

**Основні задачі досліджень включають:**

- обґрунтування актуальності досліджень, що виконувались, в області стійкості основних підготовчих виробок в гірничо-геологічних умовах шахти ім. В.М. Бажанова;
- виконання натурних вимірів в гірничих виробках;
- виконання лабораторних досліджень на еквівалентних матеріалах;

- оцінка напружено-деформованого стану складноструктурного неоднорідного вуглепородного масиву навколо протяжних виробок;
- розробка рекомендацій із розташування в просторі основних транспортних і вентиляційних магістралей в гірничо-геологічних умовах шахти ім. В.М. Бажанова.

**Методи досліджень.** Методичну основу досліджень складає комплексний підхід, який полягає в аналізі джерел інформації в області стійкості підземних гірничих виробок і методів оцінки напружено-деформованого стану породного масиву, ослабленого штучними порожнинами; натурних інструментальних спостереженнях; лабораторних дослідженнях, виконаних із залученням методу фізичного моделювання на еквівалентних матеріалах; у застосуванні чисельних методів вирішення геомеханічних задач; у використанні методів механіки суцільного деформованого твердого тіла, механіки руйнування, математичної статистики і теорії вірогідності при обробці результатів вимірів.

**Наукові положення, що захищаються в дисертації, :**

- геомеханічні процеси, котрі розвиваються навколо протяжних похилих виробок, проявляються у формі вертикальної і горизонтальної конвергенції, які змінюються в часі за експоненціальним законом, інтенсивність яких визначається положенням виробок відносно рівня підосви вугільного пласта, що припускає можливість оптимізації розташування їх в просторі з метою підвищення стійкості;
- інтенсивність зміни конвергенції  $dU/dl$ , яка визначає стан гірничої виробки, чутливіша до величини аргументу  $l$  при розташуванні виробки нижче рівня вугільного пласта, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати на її підтримання.

**Наукова новизна отриманих результатів :**

- уперше для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов шахти ім. В.М. Бажанова встановлені закономірності деформації в часі основних транспортних і вентиляційних магістралей;
- обґрунтована геомеханічна модель підземної протяжної виробки, пройденої в істотно неоднорідному вуглепородному середовищі для умов шахти ім. В.М. Бажанова;
- уперше для гірничо-геологічних умов шахти ім. В.М. Бажанова встановлені закономірності розподілу напружень і переміщень навколо основних транспортних і вентиляційних магістралей і визначено таке положення виробок в просторі відносно рівня підосви вугільного пласта, при якому стійкість їх максимальна;
- встановлені нові закономірності зміни стійкості основних магістральних виробок залежно від їх розташування в просторі по відношенню до підосви вугільного пласта.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні закономірностей розподілу еквівалентних напружень навколо одиночної підземної виробки, пройденої в істотно неоднорідному вуглепородному середовищі.

**Практичне значення роботи** полягає в розробці і впровадженні рекомендацій з раціонального розташування капітальних підготовчих виробок в просторі.

**Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій** забезпечується використанням апробованих методів досліджень, таких як

механіка суцільного середовища, теорія вірогідності і математична статистика, теорія планування експерименту, і підтверджується задовільним збігом результатів натурних і чисельних експериментів.

**Реалізація роботи в промисловості.** Розроблена «Методика визначення раціонального місця закладення основних відкочувальних і вентиляційних магістральних виробок на шахтах ДП «Макіїввугілля» використовується при проектуванні параметрів систем розробки.

**Особистий вклад автора** полягає у формулюванні мети і основних задач досліджень, наукових положень, організації і виконанні натурних вимірів, виконанні лабораторних і аналітичних досліджень, розробці рекомендацій з розташування основних підготовчих виробок в гірничо-геологічних умовах на шахті ім. В.М. Бажанова, впровадженні розроблених рекомендацій в промисловості.

**Апробація результатів досліджень.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорені і схвалені на засіданні науково-технічної ради шахти ім. В.М. Бажанова, на науковому семінарі кафедри будівництва і геомеханіки Державного ВНЗ «Національний гірничий університет», а також на міжнародних науково-технічних конференціях «Вдосконалення технології будівництва шахт і підземних споруд» (м. Донецьк, ДонНТУ, 2009 р.), «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2009, 2010 р.р.), міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, ДТУЗТ ім. Лазаряна, 2009 р.), міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 80-річчю кафедри будівництва і геомеханіки (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2010 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Неделя горняка» (м. Москва, МДГУ, 2011 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 8 статей, в т.ч. 4 – в спеціалізованих виданнях, і 4 – в збірках матеріалів конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел із 121 найменування і двох додатків. Містить 102 сторінки машинописного тексту, 58 рисунків і 13 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 149 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вугілля в Україні є одним з небагатьох енергоносіїв, запаси якого є в достатній кількості. Гірничо-геологічні умови залягання вугільних пластів є складними, глибина їх розробки нерідко перевищує 1000 м. Видобуток газонасичених пластів вугілля супроводжується підвищенням температури породного масиву і такими проявами гірського тиску як здимання порід підодшви виробок, раптові викиди вугілля, породи, газу, вивалоутворення. Усе це зумовлює застосування специфічних систем розробки, посилене провітрювання гірничих виробок, дотримання необхідних відповідно до Правил безпеки поперечних перерізів вентиляційних і транспортних магістралей. Перераховані заходи вимагають чималих витрат, які у результаті збільшують собівартість вугілля, що видобувається, і знижують його конкурентоспроможність відносно інших енергоносіїв.

Практика показує, що проведення горизонтальних і похилих гірничих виробок є найбільш об'ємною ланкою в їх будівництві. З іншого боку, однією з найбільш вагомих причин, від яких залежить ефективність роботи вугільних шахт, є стан протяжних гірничих виробок. Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення стійкості підземних протяжних виробок вугільних шахт і зниження витрат, пов'язаних із їх експлуатацією, є актуальними і мають велике народногосподарське значення.

Як базове для проведення досліджень прийняте державне підприємство з видобутку вугілля (ДП) «Макіїввугілля». Найбільш великим і перспективним підприємством, як за виробничою потужністю, так і за обсягами видобутку вугілля і проведення протяжних виробок, є ВАТ «Шахта ім. В.М. Бажанова», яка й обрана як основний об'єкт досліджень. Магістральні виробки похильного поля проводяться по виробленому простору раніше відпрацьованих ділянок після ущільнення обвалених порід.

Натурні візуальні та інструментальні спостереження виконувалися в Центральній вентиляційній магістралі (ЦВМ) і Центральному допоміжному похилі (ЦДП) гор. 1100 м похильного поля шахти ім. В.М. Бажанова, відібрані для цього у зв'язку з їх особливою важливістю для розвитку гірничих робіт і схожістю гірничо-геологічних умов розташування виробок при відмінностях в гірничотехнічних умовах, оскільки рівень підосви ЦДП відповідає рівню підосви пласта  $m_3$ , а ЦВМ закладена в покрівлі відносно рівня підосви пласта. Мета спостережень – отримання інформації про характер розвитку деформаційних процесів в приконтурному масиві, дослідження величини зміщень контурів виробок і оцінки загального їх стану залежно від зміни гірничотехнічної обстановки. При спостереженнях фіксувалися вертикальна і горизонтальна конвергенція, а також обчислювалися величини відносного показника стійкості  $\omega$ , що визначається виразом:

$$\omega = \frac{N_0 - N}{N_0},$$

де  $N_0$  – загальна кількість рам кріплення на ділянці, шт.;  $N$  – кількість рам кріплення, що знаходяться в незадовільному стані, шт.

Візуальне обстеження ЦВМ показало, що і в ній, так само, як і в ЦДП, основними проявами гірського тиску є деформації верхняків рам кріплення, деформації аж до руйнування затягувань; деформації і розрив хомутів; здимання гірських порід; із зміщень контуру виробки переважають вертикальні.

Величина показника  $\omega$  на усіх обстежених ділянках виробок не набувала значень вище за 0,7 і 0,55, а в районі сполучень – вище за 0,31 і 0,27...0,28 (для ЦДП і ЦВМ відповідно). В цілому стан ЦДП на момент обстеження можна визнати задовільним; із відходом на більшу глибину закладення загальний стан виробки погіршується, інтенсивність проявів гірського тиску в цілому зростає. Стан ЦВМ слід визнати поганим, сполучення також в незадовільному стані. Із збільшенням глибини її стан ще більш погіршується. Характер розвитку зміщень у виробках на найглибших для них станціях вимірів наведений на рис. 1.

Аналіз інструментальних спостережень на 182-у добу показує наступне. Максимальна горизонтальна конвергенція в ЦДП досягає понад 40,0 см. Найбільша

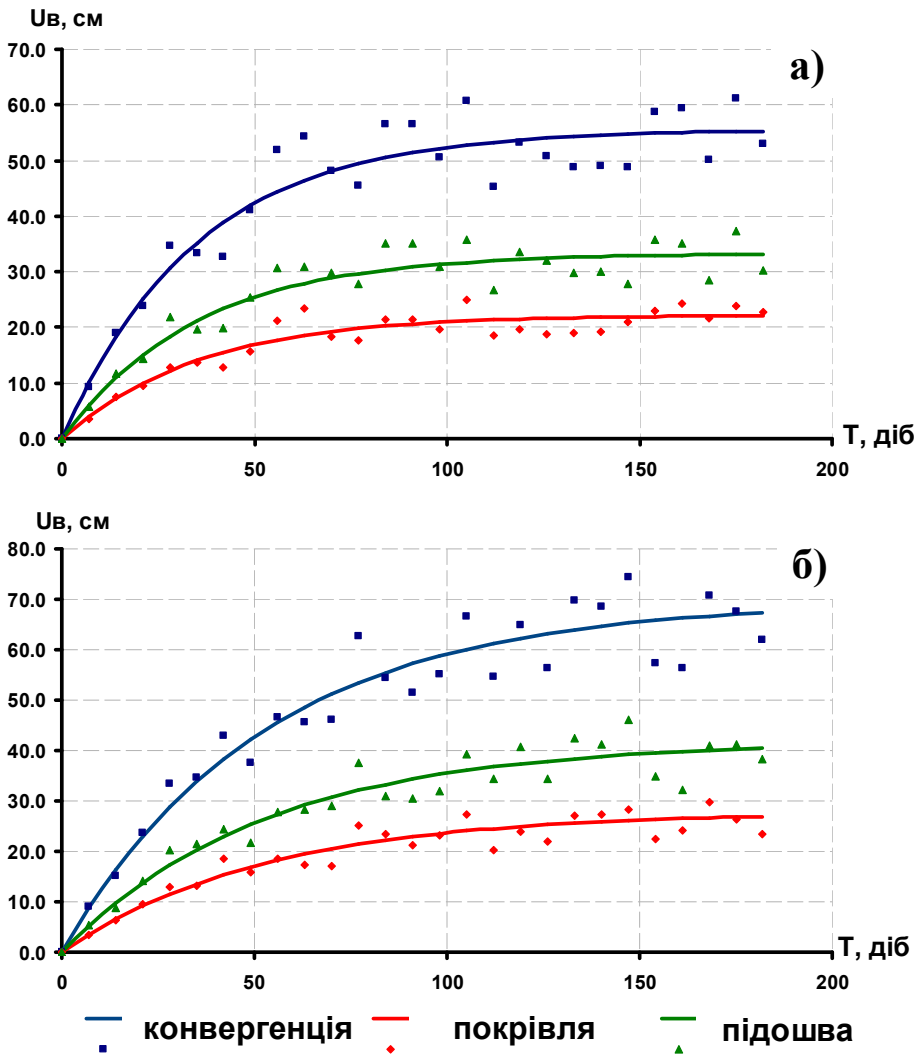


Рис. 1. Виміряні вертикальні зміщення:  
а) ЦДП; б) ЦВМ

67,3 см. Доля зміщень з боку підшови також складає до 60% загальної вертикальної конвергенції і сягає максимального значення у 40,4 см. Апроксимація отриманих даних дає сімейство кривих того ж експоненціального вигляду –  $U_v = a(1 - e^{-bT})$ .

Отримані результати спостережень на станціях вимірів показують, що в схожих виробках – ЦДП і ЦВМ, що знаходяться в однакових гірничо-геологічних умовах, але на різній відстані від рівня підшови вугільного пласта, форма проявів гірського тиску дуже схожа – в основному зміщення з боку підшови, а ось характер їх розвитку в часі та інтенсивність відрізняються, роблячи умови підтримання ЦДП сприятливішими, незважаючи на більшу його протяжність в порівнянні з ЦВМ і більшу глибину розташування ділянки виміру в ній.

Наведений аналіз натурних спостережень дозволяє зробити висновок, що геомеханічні процеси, котрі розвиваються навколо протяжних похилих виробок, проявляються у формі вертикальної і горизонтальної конвергенції, які змінюються в часі за експоненціальним законом, інтенсивність яких визначається положен-

величина вертикальної конвергенції – 55,0 см. Доля зміщень з боку покрівлі і підшови в загальній конвергенції – 40% і 60% відповідно. Основний вклад у вертикальну конвергенцію дають зміщення підшови – 33,2 см.

Залежності переміщень від часу, як горизонтальних, так і вертикальних, добре, з коефіцієнтом кореляції 0,96-0,98, апроксимуються експоненціальною функцією  $U_v = a(1 - e^{-bT})$ .

На той же період (182-а доба) для ЦВМ максимальні горизонтальні зміщення склали 47,4 см, що на 17% більше, ніж для ЦДП. Максимальна величина вертикальної конвергенції склала

ням виробок відносно рівня підоскви вугільного пласта, що припускає можливість оптимізації розташування їх в просторі з метою підвищення стійкості.

Для з'ясування міри впливу на стійкість виробки її положення відносно підоскви вугільного пласта були виконані експерименти на моделях з еквівалентних матеріалів. За еквівалентні матеріали була прийнята суміш з піску, парафіну і графіту з додаванням солідолу. Моделювалася товща порід, відповідна геологічному розрізу в місці закладення виробок: вапняк, вуглистий, глинистий і піскуватий сланці. Масштаб моделювання, що був прийнятий у експериментах є 1:100.

Для досліджень було визначено 31 ситуацію розміщення виробки в масиві відносно рівня підоскви вугільного пласта: виробка в покрівлі (напряв «+») або підоскви (напряв «-») пласта з варіюванням відстані  $l$  від рівня підоскви пласта до підоскви виробки в діапазоні від 0 до  $\pm 15$  м. Глибина закладення виробки в моделях прийнята 900 м.

Аналіз результатів моделювання показує наступне. Характер деформації моделі в області, близькій до виробки, на усіх моделях був однаковим – основні зміщення розвивалися у вертикальному напрямі, величина вертикальної конвергенції на всіх випробуваних моделях більше за горизонтальну в середньому на 39-42%. За результатами дослідження побудовані залежності зміни висоти і ширини виробки від величини  $l$  (рис. 2).

Розвиток деформацій в моделях залежно від величини навантаження розрізняється при різному положенні виробки відносно рівня підоскви пласта:

- при розташуванні виробки на рівні пласта вугілля (положення «0») інтенсивність зміщень починає зростати, досягши рівня навантаження  $0,38 \gamma H$ , збільшуючись до моменту досягнення максимального навантаження на навантажуючому пристрої стенду, що дорівнює  $\gamma H$ , в 3 рази в боках і в 3,13 рази по вертикалі;

- при розташуванні виробки вище рівня підоскви вугільного пласта (напряв «+») інтенсивність зміщень починає зростати при навантаженні  $0,44 \gamma H$ , збільшуючись до моменту досягнення навантаження  $\gamma H$  в 3,1 рази в боках і в 3,14 рази по вертикалі;

- при розташуванні виробки нижче рівня підоскви вугільного пласта (напряв «-») інтенсивність зміщень починає зростати тільки при величині навантаження  $0,56 \gamma H$  збільшуючись до моменту досягнення навантаження  $\gamma H$  в 2,8 рази в боках і в 3,1 рази по вертикалі.

Порівняння абсолютних значень деформацій контуру в покрівлі, підоскви і боках виробки при різних її положеннях показує, що при максимальному навантаженні ( $\gamma H$ ) у виробках, розташованих вище за пласт (напряв «+») деформації в 1,67 рази (боки), 1,57 рази (покрівля), 1,78 рази (підосква) більше, ніж при розташуванні її у напрямі «-», і відповідно у 1,07, 1,09 і 1,13 рази менше, ніж при розташуванні її на рівні «0» (рівень підоскви вугільного пласта).

Найбільші зміни висоти і ширини виробки спостерігаються при розташуванні її на рівні підоскви і в покрівлі пласта і практично не залежать (у діапазоні до  $\pm 15$  м) від відстані від виробки до підоскви вугільного пласта (рис. 2,а).

Найменші деформації приконтурного масиву виробки спостерігаються при розташуванні її нижче за рівень пласта (рис. 2,б), причому, починаючи з відстані



-7,0 м, відмінності у величині змін висоти і ширини виробки зменшуються і, з відстані -10,0 м і нижче, зміна положення виробки перестає позначатися на її стані.

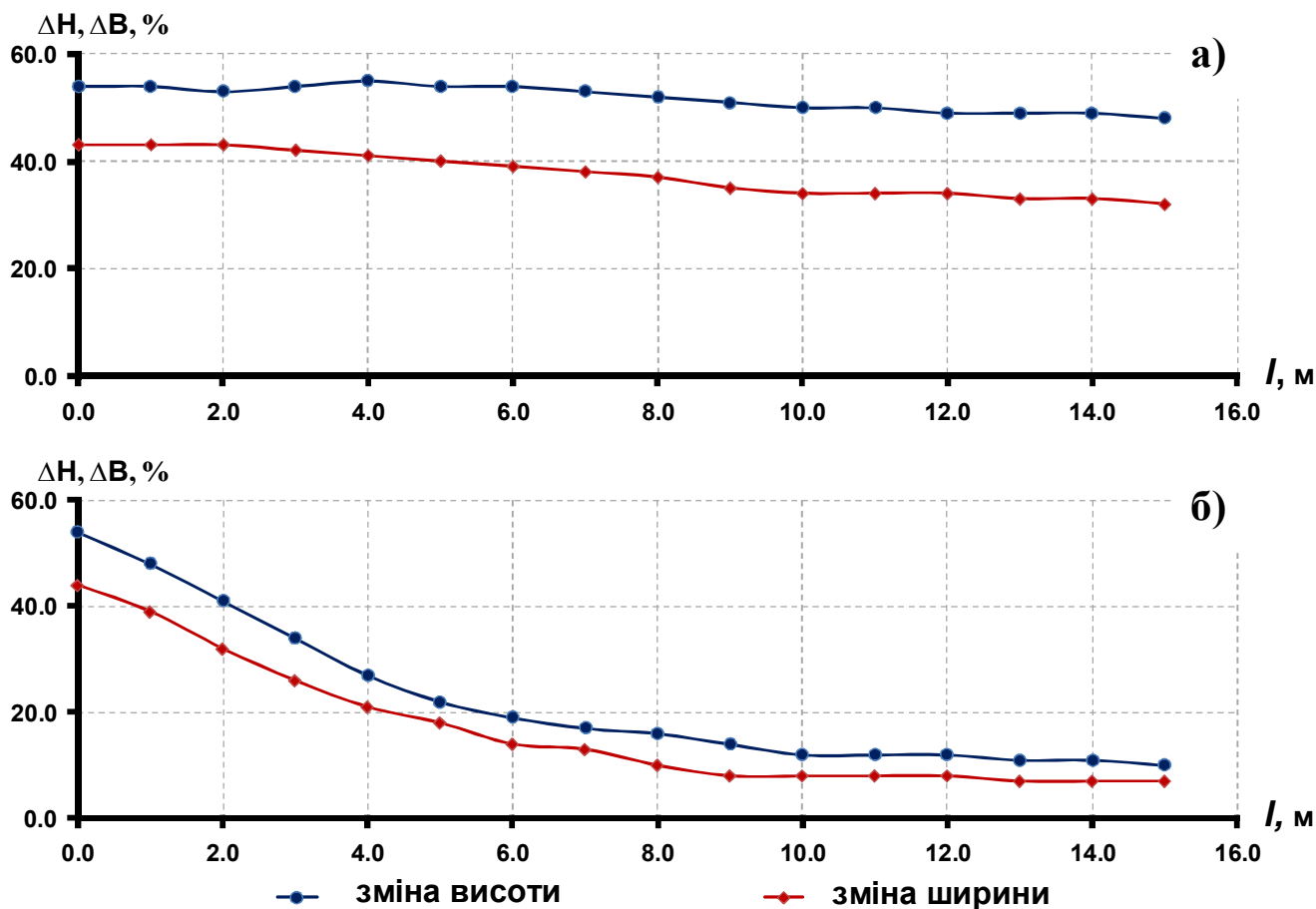


Рис. 2. Залежності зміни висоти і ширини виробки від відстані від рівня підшви вугільного пласта до підшви виробки при розташуванні її в напрямі: а) – вище за рівень пласта («+»); б) – нижче за рівень пласта («-»)

Таким чином, за результатами лабораторного моделювання, виходячи з величини зміщення контуру гірничої виробки, найбільш раціональним є її розташування нижче за рівень підшви пласта в діапазоні від -7,0 м до -10,0 м.

Для уточнення отриманих під час лабораторного моделювання результатів були виконані аналітичні дослідження на чисельних моделях методом скінчених елементів (МСЕ), реалізованим в програмному продукті, розробленому С.М. Гапесєвим на кафедрі будівництва і геомеханіки Державному ВНЗ «НГУ».

Задача вирішувалася в два етапи. На першому етапі визначалися розміри і форма області обвалених порід над лавою, і встановлювалося фактичне положення похилих виробок відносно меж цієї області. Розроблена розрахункова схема чисельної задачі, що повторює стратиграфічну ситуацію в 2-ій центральній лаві похильного поля пласта  $m_3$  (розвантажувальній), в полі якої згодом проведена ЦВМ. Оцінка розмірів зони руйнівного впливу (за О.О. Борисовим) здійснювалася за точковим і інтегральним критеріям, на основі методики, розробленої у Державному ВНЗ «НГУ» к.т.н. Н.В. Хозяйкіною.

Встановлено, що за результатами чисельного вирішення висота зони руйнівного впливу в цих умовах складає  $h_p = 26,0$  м, що практично співпадає (розкид 13%) з теоретичними оцінками за відомою формулою О.О. Борисова:

$$h_p = \eta \frac{h_g - h_c}{k_{cp} - 1},$$

де  $h_g$  – потужність вугільного пласта, що виймається;  $h_c$  – межа вільного опускання основної покрівлі;  $k_{cp}$  – середній коефіцієнт розпушування порід,  $\eta = 2 \dots 3$  – коефіцієнт запасу.

Фактичне місце розташування ЦВМ, з урахуванням області впливу виробки, що дорівнює 3-4 її радіусам, знаходиться повністю в межах зони руйнівного впливу (рис. 3), що дозволяє розглядати ЦВМ як одиночну виробку, пройдену у фактично однорідному масиві (в межах зони руйнівного впливу). Це, у свою чергу, дозволяє виконувати рішення задач другого етапу в плоскій постановці.

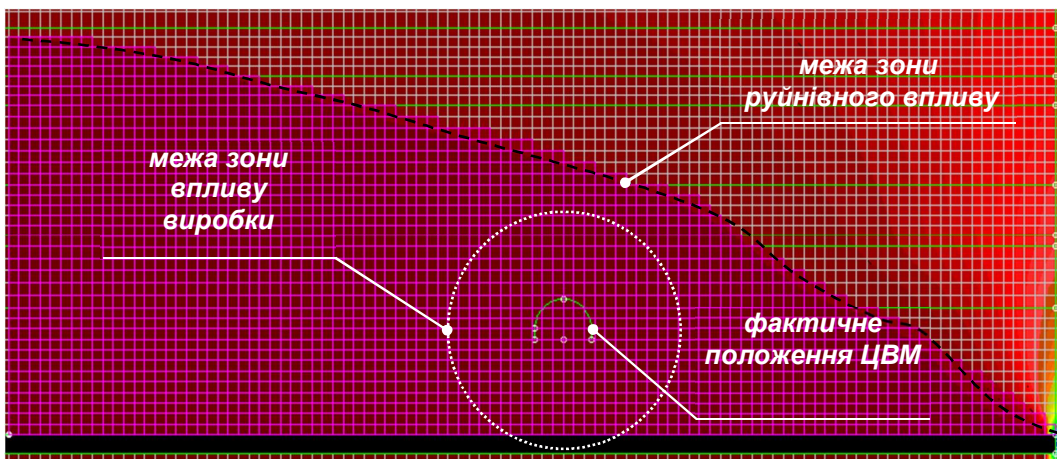


Рис. 3. Розмір зони руйнівного впливу за результатами чисельного рішення

як сукупність окремих плоских задач, в яких варіювалося положення ЦВМ відносно рівня підшови вугільного пласта з кроком 5,0 м, що фактично дорівнює половині радіусу області впливу ЦВМ на приконтурний масив. Така величина кроку перебору варіантів розташування виробки вибиралася з міркувань точнішого відстежування зміни НДС масиву навколо неї. Кожна розрахункова схема відрізнялася одна від одної величиною зовнішнього навантаження і структурою порідного масиву, яка відповідала гірничо-геологічним умовам при тому або іншому положенні виробки і враховувала результати рішення задачі про зону руйнівного впливу (рис. 4).

З метою виключення впливу крайових ефектів в задачах другого етапу рішення розміри області породного масиву навколо виробки приймалися рівними  $B \times H = 45 \times 45$  м, що приблизно дорівнює дванадцяти її радіусам. Глибина розташування досліджуваного перерізу виробки – 1100 м, вага порід враховувалася. Найнижче положення виробки відносно рівня підшови пласта прийняте таким, що дорівнює

На другому етапі оцінювався рівень напружено-деформованого стану (НДС) навколо виробки при різному її розташуванні відносно підшови пласта.

Рішення виконувалося

–7,0 м, оскільки нижче цього рівня залягає пласт вапняку, перетинання якого реальною виробкою не є технологічним.

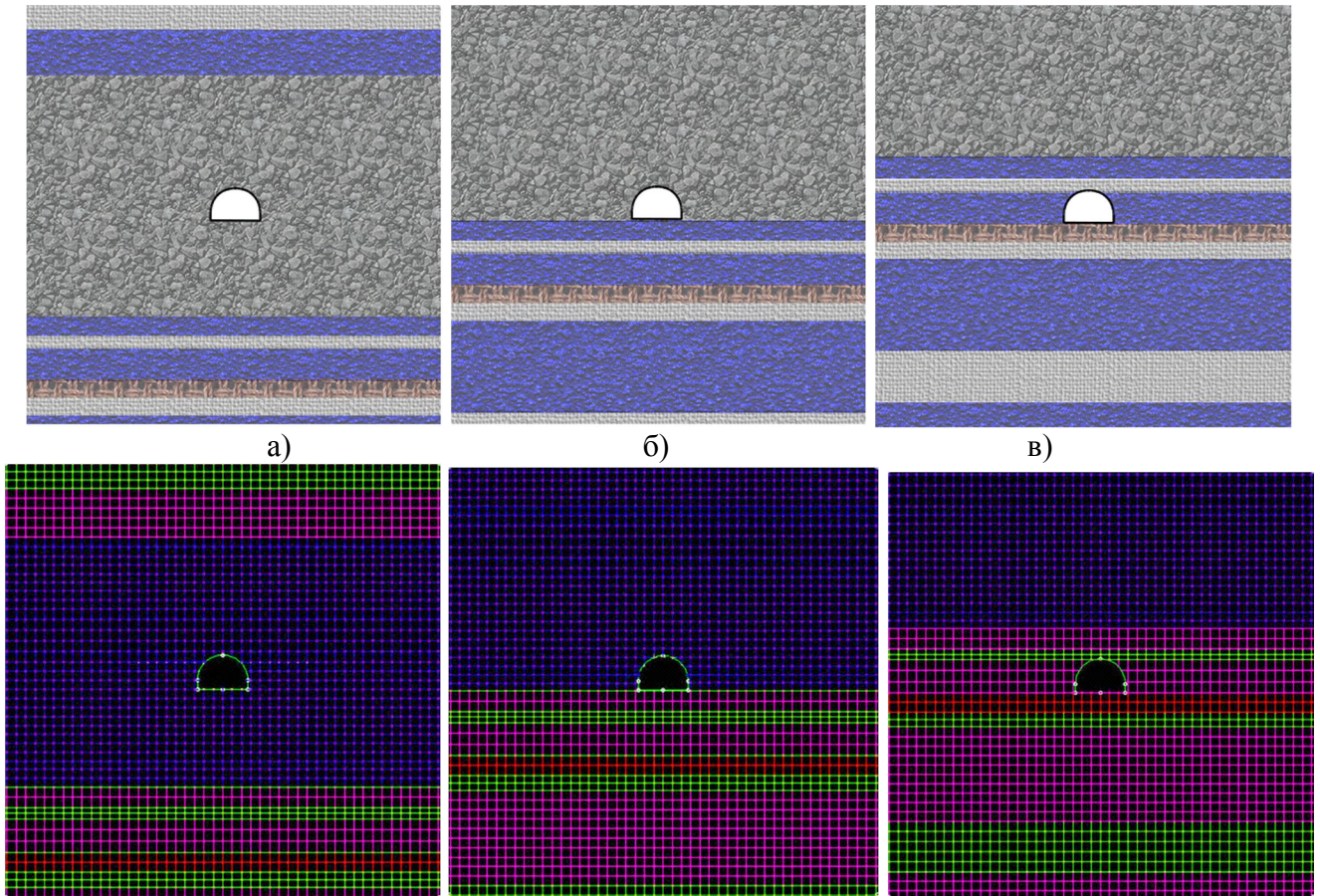


Рис. 4. Розрахункові схеми задач другого етапу і їх МСЕ-реалізації при різному розташуванні виробки відносно вугільного пласта: а) +10,0 м; б) 0,0 м; в) –7,0 м

Аналіз результатів показує наступне. Розміри областей непружних деформацій змінюються залежно від відстані до рівня підшови вугільного пласта. З відходом нижче цього рівня, тобто з виходом із зони руйнівного впливу шарів, що обвалюються, порід покрівлі розвантажувальної лави розміри області непружних деформацій зменшуються, розміщення (розпушування) порід усередині цієї зони набуває регулярнішого характеру, про що свідчить колірна гамма елементів навколо виробки на моделях, наведених на рис. 5 – на рис. 5,а (фактичне положення виробки) кольори елементів в приконтурній зоні розподілені дуже нерівномірно і кількість таких елементів більше порівняно із ситуацією на рис. 5,в.

На рис. 6 наведена залежність відносного радіусу області непружних деформацій  $r_L$ , виміряного в різному напрямі по контуру виробки, від відстані  $l$  від рівня підшови вугільного пласта до виробки. Аналіз залежностей показує, що найбільш несприятливі умови з точки зору розвитку геомеханічних процесів навколо виробки, виражені розмірами області непружних деформацій, спостерігаються при розташуванні виробки в межах від +5,0 м до +20,0 м, а найбільш сприятливі умови, при яких радіус області непружних деформацій найменший з розглянутих

положень виробки – при її розташуванні в породах підшви пласта на відстані - 7,0 м.

Розміри області непружних деформацій є добрим показником геомеханічного стану системи «гірнична виробка-породний масив», в той же час цей показник досить складний для контролю з гірничої виробки. Показником, дуже зручним для оцінки стану виробки і, в той же час, порівняно простим з точки зору отримання його кількісних величин, є переміщення на контурі. Крім того, як показують численні дослідження, показники «переміщення на контурі» і «розміри області непружних деформацій» добре корелюють один з одним.

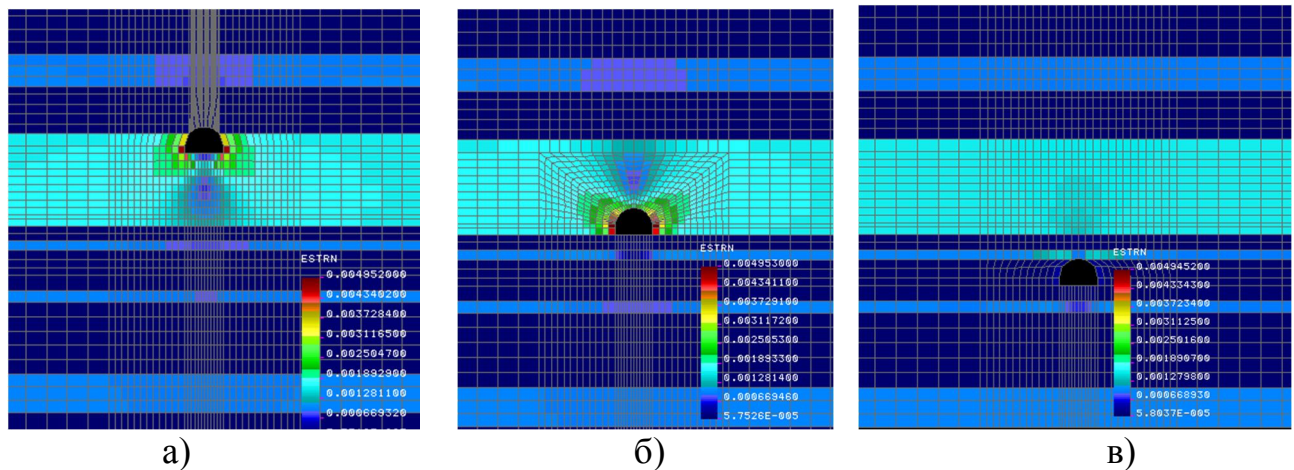


Рис. 5. Розміри зон непружних деформацій при деяких положеннях ЦВМ : а) початковому (+10,0 м); б) підшва виробки на рівні підшви пласта (0,0 м); в) підшва виробки на пласті вапняку (-7,0 м)

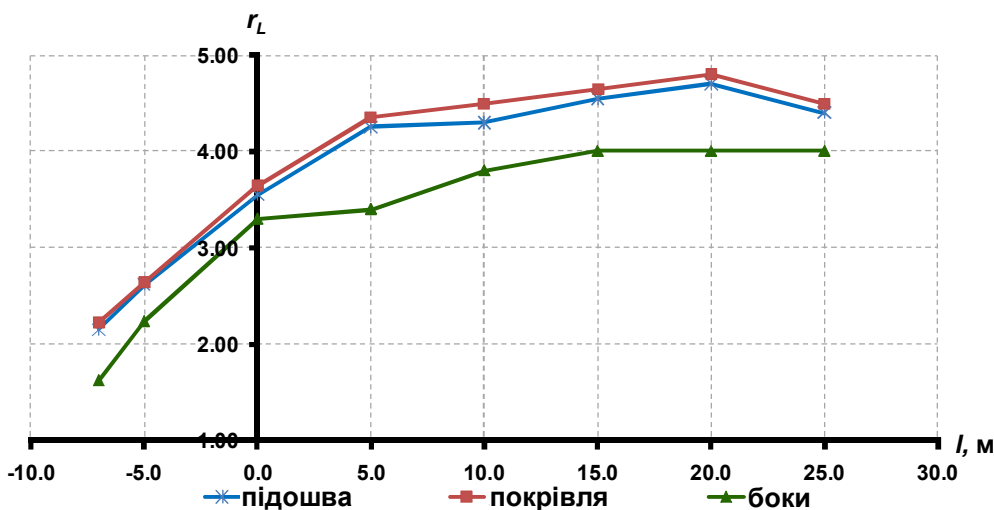


Рис. 6. Залежність відносного радіусу непружних деформацій  $r_L$  від відстані  $l$  між рівнем підшви вугільного пласта і підшвою виробки

ми вигляду :

$$UX = a_i \cdot (b_i - e^{-c_i \cdot l}) \text{ та } UY = a_i \cdot (b_i - e^{-c_i \cdot l}),$$

де  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  – коефіцієнти апроксимації.

На рис. 7 наведений характер горизонтальної  $UX$  і вертикальної  $UY$  конвергенцій і зміщення покрівлі і підшви досліджуваної виробки (ЦВМ) при зміні відстані  $l$  від її підшви до рівня підшви вугільного пласта. Вказані залежності досить добре апроксимуються експоненціальними функціями

Найінтенсивніше значення як  $UX$ , так і  $UY$  відносно фактичного положення виробки (+10,0 м) змінюються в ситуаціях її розташування нижче рівня підшови вугільного пласта. З виходом положення виробки в породи покрівлі інтенсивність

зміни значень конвергенцій приблизно однакова як в діапазоні (0,0 м; +10,0 м), так і в діапазоні (+10,0 м; +15,0 м) і коливається в межах  $\pm 5...7\%$  від значень при положенні «+10,0 м» (фактичне розташування виробки)

На рис. 8 наведена залежність величини  $dU/dl$  (інтенсивність зміни величини конвергенції) від відстані  $l$  до рівня підшови вугільного пласта. Видно, що при переміщенні положення виробки вище її фактичного положення в межах зони руйнівного впливу (положення від «+10,0 м» до «+20,0 м») величини конвергенцій міняються не дуже істотно – зростають в межах 7-10% від стану «+10,0 м». При виході з цієї зони (положення «+25,0 м») стан виробки починає наближатися до початкового,

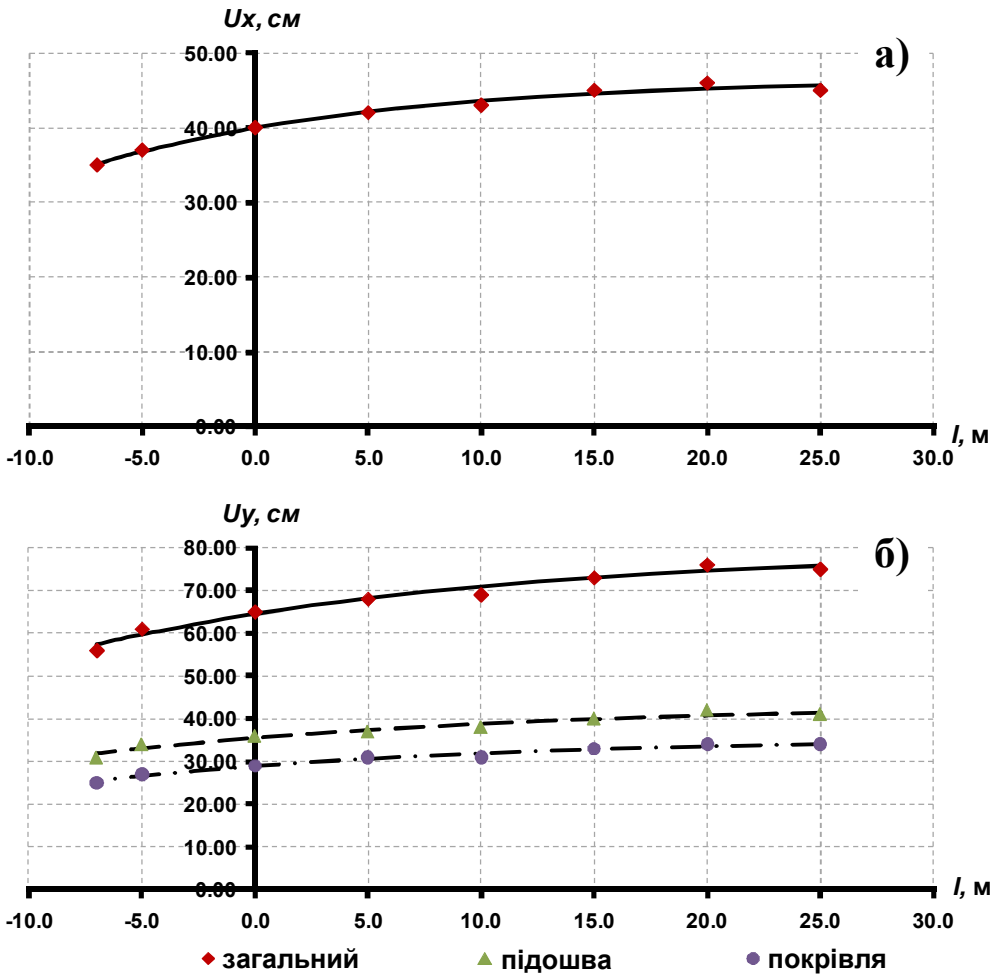


Рис. 7. Горизонтальна  $UX$  (а) і вертикальна  $UY$  (б) конвергенція залежно від відстані  $l$  між рівнем підшови вугільного пласта і підшовою виробки

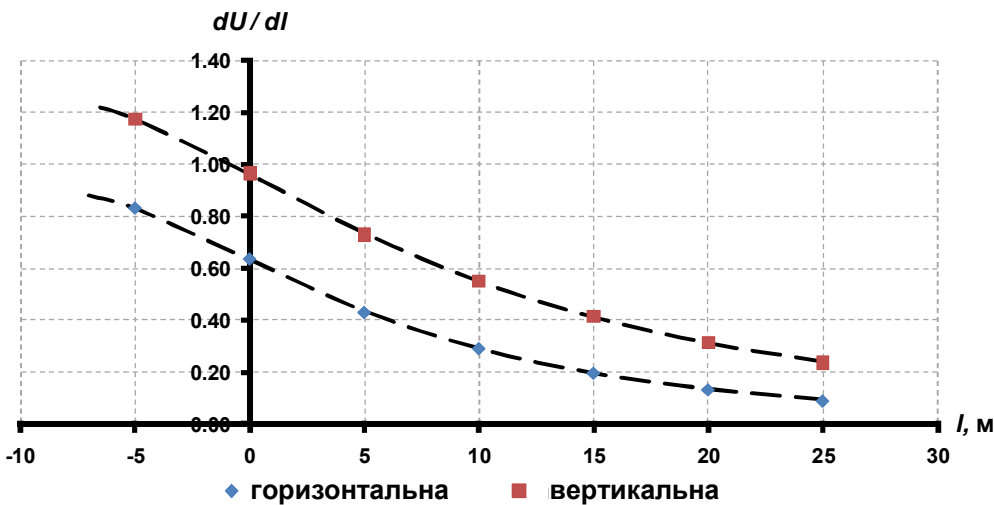


Рис. 8. Залежність величини  $dU/dl$  (інтенсивність зміни величини конвергенції) від відстані  $l$  до рівня підшови вугільного пласта

а приріст конвергенцій складає вже 5-8%. Тобто, варіювання положення виробки в межах зони руйнівного впливу достатньо слабо позначається на зміні стану виробки. В той же час, відхід виробки нижче її фактичного положення з виходом із зони руйнівного впливу в підшві вугільного пласта дуже активно позначається на зміні її стану, знижуючи величину деформацій контуру в 1,23 рази при відстані від пласта, що дорівнює  $-7,0$  м.

Таким чином, інтенсивність зміни конвергенції  $dU/dl$ , що визначає стан гірничої виробки, чутливіша до величини аргументу  $l$  при розташуванні виробки нижче рівня вугільного пласта, що дозволяє понизити експлуатаційні витрати на її підтримування.

Для перевірки висновків, отриманих при лабораторному і чисельному моделюванні відносно місця закладення головних транспортних і вентиляційних магістралей, були виконані натурні експерименти на шахті «Чайкине», що відпрацьовує пласт  $m_3$  у схожих гірничо-геологічних умовах. Станції вимірів були закладені в конвеєрному похилі гор. 908 м. Спостереження протягом 90 діб велися одночасно і в ЦВМ на шахті ім. В.М. Бажанова і в конвеєрному похилі шахти «Чайкине», як на експериментальному, так і на контрольних ділянках.

Аналіз отриманих результатів показав, що усі залежності зміщень контуру від часу носять експоненціальний характер, геомеханічні процеси є затухаючими. При цьому на експериментальній ділянці величина горизонтальних зміщень в 1,8 рази, а вертикальних – в середньому в 1,6 рази менше, ніж на контрольних. В усіх випадках на контрольній ділянці висота підняття підшви в похилі не перевищувала 25-30 см. Експериментально отримані величини переміщень близькі до розрахункових, отриманих при чисельному моделюванні, розкид результатів не перевищує 11%. Хороша збіжність аналітичних і натурних результатів підтверджує зроблені в роботі висновки відносно раціонального місця закладення основних транспортних і вентиляційних магістралей в умовах, схожих з умовами відпрацювання пласта  $m_3$  на шахтах ім. В.М. Бажанова і «Чайкине».

Розроблена за результатами досліджень «Методика визначення місця розташування головних відкочувальних та вентиляційних магістралей прийнята до використання в ДП «Макіїввугілля». Очікуваний економічний ефект від впровадження рекомендацій, отриманих за рахунок зменшення обсягів ремонтних робіт, склав 1 149,46 грн/рік на 1 п.м. виробки.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов шахти ім. В.М. Бажанова ДП «Макіїввугілля» закономірностей деформації контуру основних транспортних і вентиляційних магістралей вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення стійкості підземних протяжних виробок вугільних шахт і зниження витрат, пов'язаних із їх експлуатацією, і розроблені рекомендації з раціонального їх розташування в просторі.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Виконаний аналіз виробничої діяльності шахт ДП «Макіїввугілля», що дозволило визначити мету і сформулювати основні задачі досліджень, які полягають в обґрунтуванні місця закладення основних відкочувальних і вентиляційних магістралей в складноструктурному шаруватому вуглепородному масиві в гірничо-геологічних умовах шахти ім. В.М. Бажанова.

2. Уперше для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов шахти ім. В.М. Бажанова встановлені закономірності деформації в часі основних транспортних і вентиляційних магістралей.

3. Доведено при натурних дослідженнях, що геомеханічні процеси, котрі розвиваються навколо протяжних похилих виробок, проявляються у формі вертикальної і горизонтальної конвергенції, які змінюються в часі за експоненціальним законом, інтенсивність яких визначається положенням виробок відносно рівня підшви вугільного пласта, що припускає можливість оптимізації розташування їх в просторі з метою підвищення стійкості.

4. На моделях з еквівалентних матеріалів встановлені закономірності зміни стійкості основних магістральних виробок залежно від їх розташування в просторі відповідно підшви вугільного пласта. Доведено, що найменші деформації приконтурного масиву виробки спостерігаються при розташуванні її нижче за рівень підшви пласта в діапазоні від -7,0 м до -10,0 м.

5. Обґрунтована геомеханічна модель підземної протяжної виробки, пройденої в істотно неоднорідному вуглепородному середовищі.

6. Поставлена і вирішена чисельна задача про визначення розмірів зони руйнівного впливу (за О.О. Борисовим) в породах покрівлі розвантажувальної лави. За результатами чисельного рішення висота зони руйнівного впливу в цих умовах складає  $h_p = 26,0$  м, що практично співпадає (розкид 13%) з теоретичними оцінками за формулою О.О. Борисова.

7. Уперше для гірничо-геологічних умов шахти ім. В.М. Бажанова на основі математичного моделювання встановлені закономірності розподілу напружень і переміщень навколо основних транспортних і вентиляційних магістралей і визначено таке положення виробок в просторі відносно рівня підшви вугільного пласта, при якому стійкість їх максимальна.

8. Доведено на чисельних моделях, що інтенсивність зміни конвергенції  $dU/dl$ , яка визначає стан гірничої виробки, чутливіша до величини аргументу  $l$  при розташуванні виробки нижче рівня вугільного пласта, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати на її підтримування.

9. Порівняння результатів натурних вимірів і рішень чисельних задач показує, що вони досить близько співпадають – розкид склав в середньому дещо більше 11%, що вказує на достовірність отриманого чисельного результату і адекватність моделей, покладених в основу розрахунку.

10. Очікуваний економічний ефект, що досягається за рахунок скорочення витрат на роботи, пов'язані з проведенням ремонтних робіт у виробці, шляхом зниження об'єму порід, що видаляються з виробки при підриванні підшви і зменшення кількості ділянок перекріплювання, склав 1 149,46 грн/рік на 1 п.м.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Олексюк А.Б. Проблемы поддержания выработок на шахте им. В.М. Бажанова / А.Б. Олексюк, В.В. Раскидкин // Геотехническая механика.– 2007.– Вып. 73.– С.182-187.
2. Олексюк А.Б. Дослідження деформацій породного масиву навколо капітальної виробки на шахті ім. В.М. Бажанова / А.Б. Олексюк // Геотехническая механика.– 2009. – Вип. 82. – С.30-35.
3. Олексюк А.Б. Оценка состояния капитальных наклонных выработок при их комплексном исследовании в шахтных условиях / А.Б. Олексюк, С.Н. Гапеев // Науковий вісник НГУ.– 2010.– №3.– С.9-13.
4. Олексюк А.Б. Разработка способа обеспечения устойчивости подземной выработки в условиях шахты им. В.М. Бажанова / А.Б. Олексюк, С.Н. Гапеев, Р.Н. Терещук // Збірник наукових праць НГУ.– 2010.– №34, т.1.– С.105-115.
5. Олексюк А.Б. Способ охраны и поддержания подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ / А.Б. Олексюк, С.Н. Гапеев // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Вып.15: Материалы междунар. научн.-технич. конф.– Донецк: «Норд-Пресс», 2009.– С.85-86.
6. Олексюк А.Б. Результаты использования физических моделей для разработки конструкций и мероприятий по охране воздухоподающего комплекса сооружений в шахтах / А.Б. Олексюк, А.В. Солодянкин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 69 Междунар. научн.-практич. конференции.– Д.: ДТУЗТ, 2009.– С.203-204.
7. Олексюк А.Б. Результаты натурных наблюдений за состоянием капитальной выработки в условиях шахты им. В.М. Бажанова / А.Б. Олексюк // Форум гірників – 2009: Матеріали міжнародної конференції.– Дніпропетровськ: НГУ, 2009.– С.187-190.
8. Олексюк А.Б. Лабораторні дослідження геомеханічної ситуації навколо Центральної вентиляційної магістралі на шахті ім. В.М. Бажанова / А.Б. Олексюк, С.Н. Гапеев, Р.Н. Терещук // Форум гірників – 2010: Матеріали міжнародної конференції.– Дніпропетровськ: НГУ, 2010.– С.89-93.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1] – узагальнення та аналіз досвіду підтримання виробок; [3, 4] – організація та проведення спостережень у шахтних умовах, узагальнення результатів; [4-6, 8] – розробка методики, виконання та аналіз результатів лабораторних досліджень.

### АНОТАЦІЯ

Олексюк А.Б. Геомеханічне обґрунтування просторового розміщення похилих виробок при відробці вугільних пластів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво». Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2011.



В дисертації встановлені закономірності деформації контуру основних транспортних і вентиляційних магістралей і вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення стійкості підземних протяжних виробок вугільних шахт і зниження витрат, пов'язаних із їх експлуатацією.

Натурними спостереженнями доведено, що геомеханічні процеси, котрі розвиваються навколо протяжних похилих виробок, проявляються у формі вертикальної і горизонтальної конвергенції, які змінюються у часі за експоненціальним законом, інтенсивність яких визначається положенням виробок відносно рівня підлоги вугільного пласта, що припускає можливість оптимізації розташування їх в просторі з метою підвищення стійкості.

Доведено на чисельних моделях, що інтенсивність зміни конвергенції  $dU/dl$ , яка визначає стан гірничої виробки, чутливіша до величини аргументу  $l$  при розташуванні виробки нижче рівня вугільного пласта, що дозволяє понизити експлуатаційні витрати на її підтримування. При цьому визначене найбільш раціональне їх положення – на відстані від 7,0 м до 10,0 м нижче за рівень підлоги пласта.

Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів досліджень, отриманий за рахунок зменшення обсягів ремонтних робіт, склав 1 149,46 грн/рік на 1 п.м. виробки.

Ключові слова: головні похилі виробки, просторове місце розташування, зона обвалених і ущільнених порід, прояви гірського тиску, стійкість виробки, поза-межна деформація гірських порід.

## АННОТАЦІЯ

Олексюк А.Б. Геомеханическое обоснование пространственного расположения наклонных выработок при отработке угольных пластов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.04 – «Шахтное и подземное строительство». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2011.

В диссертации на основе впервые установленных для горно-геологических и горнотехнических условий шахты им. В.М. Бажанова ГП «Макеевуголь» закономерностей деформирования контура основных транспортных и вентиляционных магистралей решена актуальная научно-техническая задача повышения устойчивости подземных протяженных выработок угольных шахт и снижение затрат, связанных с их эксплуатацией.

Комплексом визуальных и инструментальных наблюдений в двух представительных выработках шахты – Центральном вспомогательном уклоне (ЦВУ) и Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ), установлено, что в этих двух в целом похожих выработках, находящихся в одинаковых горно-геологических условиях, но на разном расстоянии от уровня почвы угольного пласта, форма проявлений горного давления очень схожа – в основном смещения со стороны почвы, а вот характер их развития во времени и интенсивность отличаются. Доказано, что геомеханические процессы, развивающиеся вокруг протяженных

наклонных выработок, проявляются в форме вертикальной и горизонтальной конвергенции, изменяющиеся во времени по экспоненциальному закону, интенсивность которых определяется положением выработок по отношению к уровню почвы угольного пласта, что предполагает возможность оптимизации расположения их в пространстве с целью повышения устойчивости.

На моделях из эквивалентных материалов установлены закономерности изменения устойчивости основных магистральных выработок в зависимости от их расположения в пространстве по отношению к почве угольного пласта. Развитие деформационных процессов в моделях различается в зависимости от положения выработки относительно уровня почвы пласта. При расположении выработки на уровне почвы пласта или выше него величина и интенсивность деформаций контура выработки при максимальной величине нагрузки выше, а увеличение интенсивности деформаций наступает раньше, чем для случая расположения выработки ниже уровня пласта угля. Результаты моделирования на эквивалентных материалах показывают, что наибольшие изменения высоты и ширины выработки наблюдаются при расположении ее на уровне и в кровле пласта и практически не зависят (в диапазоне до +/- 15 м) от расстояния от выработки до почвы угольного пласта. Доказано, что наименьшие деформации приконтурного массива выработки наблюдаются при расположении ее ниже уровня пласта, то есть, исходя из величины смещения контура горной выработки, наиболее рациональное ее расположение – ниже уровня почвы пласта в диапазоне от -7,0 м до -10,0 м.

Обоснована геомеханическая модель подземной протяженной выработки, пройденной в существенно неоднородной углепородной среде.

На основе математического моделирования методом конечных элементов впервые для горно-геологических условий шахты им. В.М. Бажанова установлены закономерности распределения напряжений и перемещений в окрестности основных транспортных и вентиляционных магистралей и определено такое положение выработок в пространстве по отношению к уровню почвы угольного пласта, при котором устойчивость их максимальна.

Доказано на численных моделях, что интенсивность изменения конвергенции  $dU/dl$ , определяющая состояние горной выработки, более чувствительна к величине аргумента  $l$  при расположении выработки ниже уровня угольного пласта, что позволяет снизить эксплуатационные расходы на ее поддержание.

Сравнение результатов натурных измерений и решений численных задач показывает, что они достаточно близко совпадают (разброс  $\approx 11\%$ ), что указывает на достоверность полученного численного результата и адекватность моделей.

Разработанная по результатам исследований «Методика определения местоположения главных откаточных и вентиляционных магистралей принята к использованию в ГП «Макеевуголь». Ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендаций, полученный за счет уменьшения объемов ремонтных работ, составил 1 149,46 грн/год на 1 п.м. выработки.

Ключевые слова: главные наклонные выработки, пространственное местоположение, зона обрушенных и уплотненных пород, проявления горного давления, устойчивость выработки, запредельное деформирование горных пород.

## THE SUMMARY

Oleksuk A.B. Geomechanical substantiation the spatial location of inclined workings in the development of coal bed. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Speciality 05.15.04 – «Mine and Underground Construction». The State higher education institution «National Mining University», Dnipropetrovsk, 2011.

In dissertation the deformation of contour regularities of the main transport and vent workings are set and the actual scientific and technical problem of improving the mine workings sustainability in coal mines and reduce the costs of their exploitation is decided.

Natural observations proved that the geomechanical processes, developing around a long inclined workings, manifested in the form of vertical and horizontal convergence, time-varying exponentially, whose intensity is determined by the location of mine workings in relation to the level of coal bed, which suggests the possibility of optimizing the location of of their in space in order to increase sustainability.

Proved by numerical models that the intensity change of convergence  $dU/dl$ , which determines the state of mine working, more sensitive to the argument of  $l$  at the location of mine working below the coal bed, which reduces operating costs for its maintenance. In this case, defined by the most rational of their position – at a distance of -7.0 m to -10.0 m below the level of coal bed.

The expected economic effect from implementation of research results, obtained by reducing the volume of repairs has made 1 149.46 UAH / year per 1 running meters mine working.

Keywords: main inclined workings, the spatial location, zone of collapse and densified rocks, the manifestations of rock pressure, mine working sustainability, out-of-limit deformation of rocks.

**ОЛЕКСЮК Андрій Борисович**

**Геомеханічне обґрунтування  
просторового розміщення похилих виробок  
при відробці вугільних пластів**

**(Автореферат)**

**Підписано до друку 31.05.2011. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Умов.друк.арк. 0,9.  
Обліково-видавн. арк. 0,9.  
Тираж 120 прим. Замовлення №**

**Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**