

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

БАРИШНІКОВ Анатолій Сергійович

УДК 622.831



**ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ
«КРІПЛЕННЯ-МАСИВ» У СЛАБКИХ ПОРОДАХ
У ЗОНІ ВПЛИВУ ОЧИСНИХ РОБІТ**

Спеціальність 05.15.01 – “Маркшейдерія”

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

Дніпропетровськ–2016

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі маркшейдерії Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет” (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ХАЛИМЕНДИКЮрій Михайлович,
професор кафедри маркшейдерії Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет” (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
КУЛІКОВСЬКА Ольга Євгенівна,
професор кафедри геодезії Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України.

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

Захист дисертації відбудеться “ 15 ” квітня 2016 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі “Національний гірничий університет” Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет” Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий “15 ” березня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних економічних умовах, що склалися в Україні, вугільна промисловість може забезпечити енергетичну незалежність країни. Для цього необхідна інтенсифікація видобутку вугілля з метою забезпечення потреб економіки і населення власним паливом повною мірою. Основною проблемою галузі є висока собівартість вугілля, в той же час існують резерви зниження витрат на вуглевидобуток, одним з яких є підтримання виробок для повторного використання. Це забезпечує скорочення обсягів проведення оконтурюючих штреків, реалізацію прямогочного провітрювання та прискорення введення лав в роботу.

Промислові запаси шахтоуправління компанії ДТЕК в Західному Донбасі, приєднуючи мурівні видобутку, можуть забезпечувати країну вугіллям на термін до 50 років. Шахти цього району є надкатегорійними за газом метаном, тому необхідне використання ефективних схем провітрювання, до яких відноситься прямогочна. Її застосування підвищує безпеку робіт і дозволяє збільшити навантаження на вибій за газовим фактором, в той же час воно потребує збереження достатнього перерізу виробок. Підтримання штреків заочисним вибоєм на шахтах Західного Донбасу ускладнюється наявністю слабких порід, що призводить до значних зміщень покрівлі та підошви, і не рекомендовано нормативними документами.

Деформування виробки в зоні впливу лави викликає процесів перерозподілу напружень в породному масиві внаслідок виїмки пласта вугілля. Згідно нормативній базі, при прогнозуванні розрахунку зміщень породного контуру підготовчих виробок і виборі параметрів кріплення не враховується швидкість посування лави та вплив зрушення товщі порід покрівлі. Отже, не використовуються геотехнічні закономірності та процеси, які впливають на стан виробок при веденні очисних робіт.

Таким чином, дослідження закономірностей деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки в зоні впливу лави з урахуванням швидкостей посування очисного вибою і зрушення масиву слабких порід для обґрунтування підходів до забезпечення підтримання та прогнозування її стану є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є частиною наукових досліджень, виконаних в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» в рамках тематик Ш-494 «Розробка методики маркшейдерського моніторингу стану виробок, що закріплені анкерним і рамно-анкерним кріпленням» (№ держреєстрації 0110U004784), №050127 «Моніторинг стану виїмкових виробок на сполученнях з лавою в умовах шахти «Комсомолець Донбасу» та розробка рекомендацій з підтримання цих виробок».

кдля повторного використання» (№ держреєстрації 0111U005872), №050134/12.11/1644-ПД «Оцінка стану масива гірничих порід та кріплення 165-го збірного штреку ПСП «Шахта «Степова» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» при використанні дворівневої схеми анкерування».

Метою роботи є встановлення закономірностей деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки зон впливу очисних робіт для підвищення ефективності підтримання в умовах слабких порід.

Ідея роботи – використання просторово-часових закономірностей деформування системи «кріплення-масив» підготовчих виробок з метою прогнозування їх стану і обґрунтування параметрів підтримання.

Для досягнення поставленої мети в дисертації були сформульовані та вирішені наступні **задачі досліджень**.

1. Аналіз і узагальнення літературних джерел щодо деформування системи «кріплення-масив» підготовчих виробок в зоні впливу очисних робіт.

2. Обґрунтувати методику маркшейдерських вимірювань, зробити попередній розрахунок точності результату виконати комплекс натурні спостереження за станом масиву і кріплення виробок.

3. Встановити геометричні параметри процесу деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки зон впливу очисних робіт.

4. Встановити вплив швидкості посування очисного вибою на процес деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки в слабких породах.

5. Обґрунтувати емпірико-аналітичну модель для прогнозування зміщень породного контуру виробки з урахуванням результатів натурних досліджень.

Об'єкт дослідження – геомеханічний процес і навколо підготовчих виробок привійцівугілля очисним вибоєм.

Предмет дослідження – закономірності деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки привійцівугілля.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішуються за допомогою комплексного підходу, що включає: аналіз і узагальнення наукової літератури та нормативних документів; проведення інструментальних спостережень за процесом деформування системи «кріплення-масив» підготовчих виробок у зоні впливу очисних робіт в умовах слабких порід; метод теорії помилок і регресійного аналізу; аналітичне моделювання зміщень порід.

Наукові положення, що захищаються в дисертації.

1. Загальні зміщення покрівлі підготовчої виробки зон впливу лави складаються з розшарувань, що відбуваються в зоні непружних деформацій в межах b_m від контуру і опускання товщі вище залягаючих порід на величину до 0,2 м, що використовується при обґрунтуванні параметрів підпірного кріплення канатних анкерів для підтримання виробки за очисним вибоєм в умовах слабо метаморфізованих порід.

2. Величина вертикальної конвергенції виробки зворотно пропорційна швидкості посування очисного вибою, при цьому швидкість зміщень на с-

полученні «лава-штрек» залишається постійною при однакових гірничотехнічних умовах, що дозволяє обґрунтувати раціональну швидкість посування вибою з урахуванням величини зміщень контуру виробки.

3. Характер розвитку зміщень породного контуру виробки в зоні впливу очисних робіт описується безперервною чотирипараметричною логістичною функцією, параметри якої для різних гірничотехнічних умов визначаються статистико-емпіричним способом, що дозволяє використовувати її при розробці аналітичних методів прогнозування конвергенції виробок.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше, із застосуванням нівелювання контурних і глибинних реперів, встановлена закономірність деформування породного масиву за зоною дезінтеграції порід впокрівлі підготовчої виробки за очисним вибоєм вигляді рівномірного опускання породних шарів і виконані кількісна оцінка величини опускання.

2. Вперше встановлена закономірність розвитку вертикальної конвергенції виробки при різних швидкостях посування очисного вибою в умовах слабких порід, яка полягає в сталості максимальної швидкості зміщень на сполученні «лава-штрек» при збільшенні швидкості посування очисного вибою в 1,3 і 2,3 рази та однакових гірничотехнічних умовах. Доведено, що в умовах слабких порід збільшення швидкості посування очисного вибою дозволяє зменшити накопичення деформацій у виробці до підходу лави і на сполученні.

3. Вперше застосована чотирипараметрична асиметрична логістична функція суву елементів системи «кріплення-масив» підготовчої виробки в залежності від відстані до очисного вибою, що відрізняється безперервністю і довільним положенням точки перегину.

4. Доведено, що параметри функції враховують закономірності зміщень порід при збільшенні швидкості посування очисного вибою опору кріплення. Це дозволяє використовувати її якості аналітичної моделі розвитку процесу зміщень і розробляти методи прогнозування деформацій виробки.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки в зоні впливу очисних робіт і розробці моделі, що враховує ці закономірності при прогнозуванні процесу зміщень порід навколо виробки.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні параметрів встановлення канатних керів і підпірного кріплення 165-го збірної штреку шахти «Степова» та розробці методик застосування статистико-аналітичного способу прогнозування зміщень порід підготовчих виробок при впливі очисного вибою лави.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується показниками обсягом проведених натурних спостережень (вимірювання виконані на 53-х маркшейдерських спостережних станціях із загальною кількістю реперів 194 шт.), ви-

користання методів теорії помилок і математичної статистики при обґрунтуванні методик натурних спостережень та обробці результатів вимірювань, відповідність окремих результатів досліджень інших авторів, застосування обґрунтованих математичних моделей, позитивним ефектом впровадження результатів досліджень.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень використані при обґрунтуванні параметрів кріплення підготовчих виробок шахти «Степова» з очікуваним економічним ефектом 73.2 млн. грн. на одну лаву.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні мети, завдань досліджень, наукових положень і висновків, в розробці методик досліджень, у проведенні натурних і інструментальних спостережень і аналітичних розрахунків, в обґрунтуванні параметрів кріплення 165-го збірної штреку шахти «Степова» та розробці «Методик застосування статистикоаналітичного способу прогнозування зміщення порід підготовчих виробок за впливом чисного вибою лави».

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на: міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблеми надрокористування» (Росія, Санкт-Петербург, НМСУ «Гірничий», 2013), міжнародних науково-практичних конференціях «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (Дніпропетровськ, ІГТМ НАН України, 2012), «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ, ДВНЗ «НГУ», 2013), «Форум гірників» (Дніпропетровськ, ДВНЗ «НГУ», 2013, 2015), «Geokinematischer Tag» (Німеччина, Фрайбург, ТУ ФГА, 2014, 2015).

Публікації. Основні наукові та практичні результати досліджень опубліковані в 14 наукових роботах, з яких 6 робіт опубліковані в спеціалізованих виданнях (в тому числі 1 – у зарубіжному виданні), 8 – у збірниках конференцій та інших наукових виданнях.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 114 найменувань на 14 сторінках та 3 додатків на 11 сторінках. Містить 110 сторінок машинописного тексту, 86 малюнків, 16 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, визначені об'єкт і предмет досліджень, сформульовані мета, наукові положення й новизна, а також наведені характеристика та загальна структура роботи.

У першому розділі виконаний аналіз літературних джерел для оцінки вивченості закономірностей деформування системи «кріплення-масив» в зоні впливу очисних робіт.

Деформування виробки в зоні впливу лави викликає складні процеси перерозподілу напружень в породному масиві внаслідок її м'якшення пластичної копалини. Урізний час дослідженнями цього процесу займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як Белаєнко Ф.А., Білінські А., Бондаренко В.І., Власов С.Ф., Гайко Г.І., Гапєєв С.М., Давідянц В.Т., Заславський Ю.З., Куліковська О. Є., Литвинський Г.Г., Назимко В.В., Масний В., Мякенький В.В., Прусек С., Роєнко А.М., Сдвижкова О.О., Скіпочка С.І., Слащов І.М. Солодянкін О.В., Тадоліні С., Усаченко Б.М., Фомічов В.В., Халимендик Ю.М., Черняк І.Л., Шашенко О.М., Юнкер М., Яковби О. та інші. Одним з підходів до вивчення закономірностей деформування системи «кріплення-масив» є геометрична інтерпретація гео-механічних процесів, яка включає всебічне дослідження зміщень порід навколо гірничих виробок, а саме визначаються переміщення точок в масиві внаслідок контурів виробок, а також елементів кріплення за допомогою інструментальних маркшейдерських зйомок. Для математичного опису зміщень використовуються функції – аналітичні моделі – параметри яких враховують вплив гірничотехнічних умов експлуатації виробки.

Незважаючи на значний обсяг виконаних досліджень, недостатньо вивченими залишаються наступні питання.

1. Не оцінюється точність вимірювання зміщень деформацій породного масиву та контролюється стійкість вихідних реперів, від яких виконуються вимірювання, що може привести до зниження вірогідності отриманих результатів.

2. Недостатньо вивчений процес деформування порід покрівлі виробки в умовах слабких бічних порід в зоні впливу очисних робіт. Дослідникам виконується оцінка розмірів зони дезінтеграції порід покрівлі, яка формує навантаження на кріплення виробки, проте не враховується зрушення породного масиву вище цієї зони.

3. Проведено недостатньо натурних досліджень при вивченні процесу вдавлення стійої каркасової кріплення в підшви виробки в зоні впливу лави.

4. Існуючі результати досліджень впливу швидкості посування очисного вибою на процес деформування виробки недостатньо суперечливі. При прогнозуванні зміщень породного контуру виробки за методами, які наведені в нормативних документах, цей фактор не враховується.

5. Функції, які застосовуються для опису та прогнозування зсувів порід навколо виробки в координатах «відстань до очисного вибою-зміщення» (моделі зміщень), мають низку умовностей, які обмежують області застосування, або невідображають інтегральність процесу зміщень (є кусковими).

За результатами проведеного аналізу відомих даних про закономірності деформування системи «кріплення-масив» в зоні впливу очисних робіт і опису процесу зміщення функціями-моделями, сформульовані задачі досліджень, вирішення яких дозволило досягти мети дисертаційної роботи.

У другому розділі проведений аналіз натурних методів дослідження процесу деформування системи «кріплення-масив» гірничої виробки.

Для вирішення поставлених задач найбільш вірогідним методом виявилось застосування контурних і глибинних реперів з їх маркшейдерською зйомкою (рис. 1). Вихідні реперні нівелірного ходу протягом спостережень перебувають поза зоною впливу лави, що забезпечує їх стійкість. Таким чином, є можливість достовірно розділити вертикальну конвергенцію на складові елементи – опускання покрівлі, підняття підшви виробки, вдавлювання стійок кріплення в підшву, а також визначити абсолютні величини зміщень глибинних реперів.

Виконано попередню оцінку точності визначення деформацій порід за допомогою глибинних реперів та висотних відміток реперів за допомогою геометричного нівелювання в шахтних умовах.

З метою встановлення межі переходу породного масиву з пружного стану в непружний прийнятий деформаційний критерій проф. Черняка І.Л., значення якого для глинистих сланців встановить 30 мм/м. Для визначення цієї величини з відносною похибкою 10%, виконано обґрунтування параметрів закладення і точності вимірювань зміщень глибинних реперів.

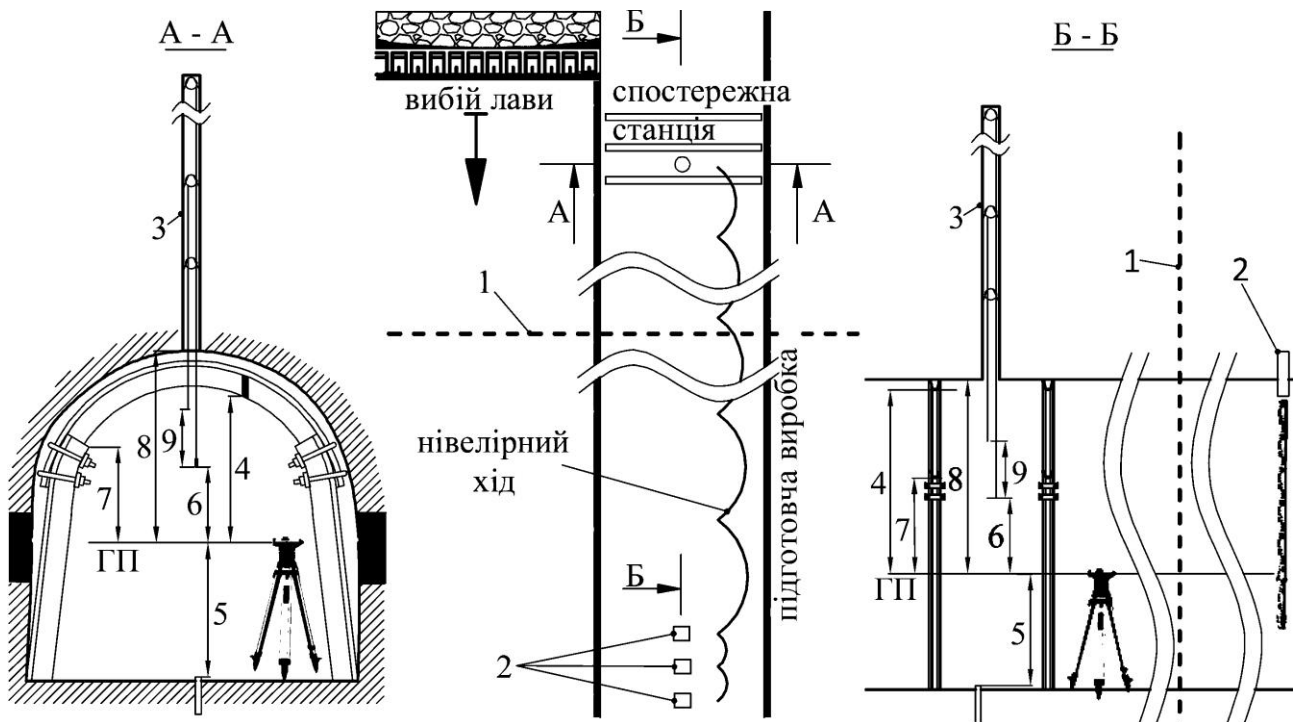


Рис. 1. Схеми нівелювання контурних і глибинних реперів:

ГП - горизонт приладу; 1 - межа зони впливу очисних робіт; 2 - вихідний «кущ» реперів нівелірного ходу; 3 - свердловина, обладнана глибинними реперами; 4-8 - відліки по нівелірній рейці, встановленій відповідно на верхньому елементі кріплення, підшві виробки, кінці тяги глибинного репера, стійках кріплення та гирлі свердловини глибинної станції; 9 - зміщення глибинних реперів відносно репера у вибої свердловини

У третьому розділі наведені результати натурних досліджень деформування системи «кріплення-масив» підготовчої виробки зон впливу очисних робіт.

Спостереження за зміщеннями елементів системи «кріплення-масив» проведені в умовах шахт «Степова», «ім. М.І. Сташкова» (слабкі бічні породи міцністю до 30 МПа) та шахти «Комсомолец Донбасу» (породи середньої міцності 40-60 МПа) (рис. 2). Відповідно до отриманих результатів, в давлування стійок металевого аркового кріплення під дошву виробки становить 70-100% відopusкання верхнього елемента. В умовах слабких порід здимання під дошви є додатковим послаблюючим фактором, який сприяє давлуванню. В умовах порід середньої міцності давлування стійок відбувається при відсутності здимання під дошви штреку. Таким чином, в зоні впливу очисних робіт застосування підп'ятників і підкладок під стійки аркового кріплення обґрунтоване не тільки при слабких бічних породах (до 30 МПа), як того вимагають нормативні документи, а й при їх середній міцності (40-60 МПа).

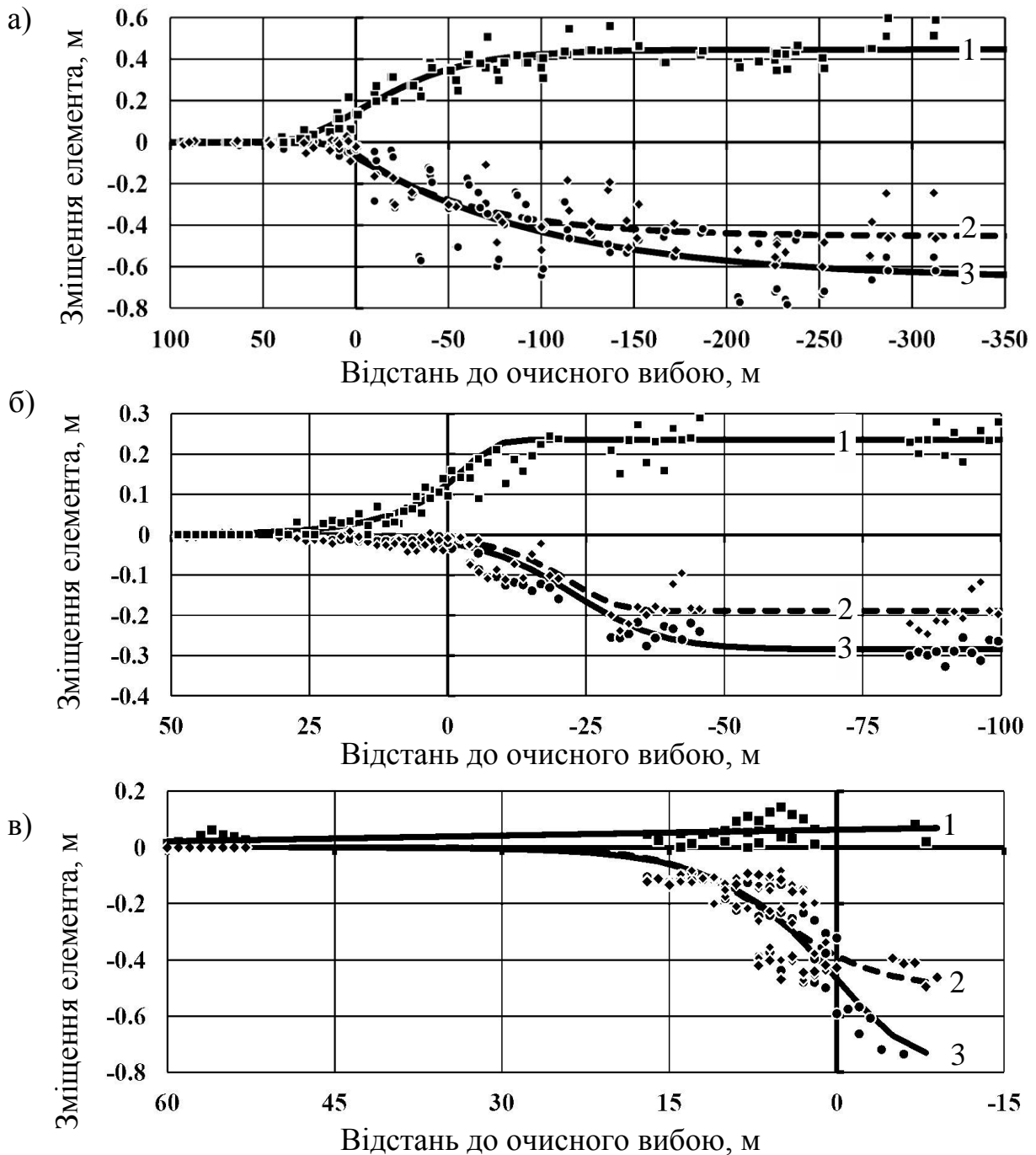


Рис. 2. Зміщення елементів системи «кріплення-масив» підготовчих виробок шахт «Степова» (а), «ім. М.І. Сташкова» (б), «Комсомолец Донбасу» (в): 1(■) – підшва виробки, 2(♦) - стійка аркового кріплення, 3(●) - верхній елемент аркового кріплення

У 165-му штреку шах. «Степова» проведено спостереження за деформуванням порід покрівлі в зоні впливу очисних робіт. Встановлено, що до підходу очисного вибою формуються зони непружних деформацій порід покрівлі, де спостерігається (рис. 3). Найбільші деформації розтягнення складають 10-20 мм/м в приконтурній області масиву глибиною до 3 м від покрівлі виробки, а на глибини 3-9 м покрівлю виробки мають знак змінний характер.

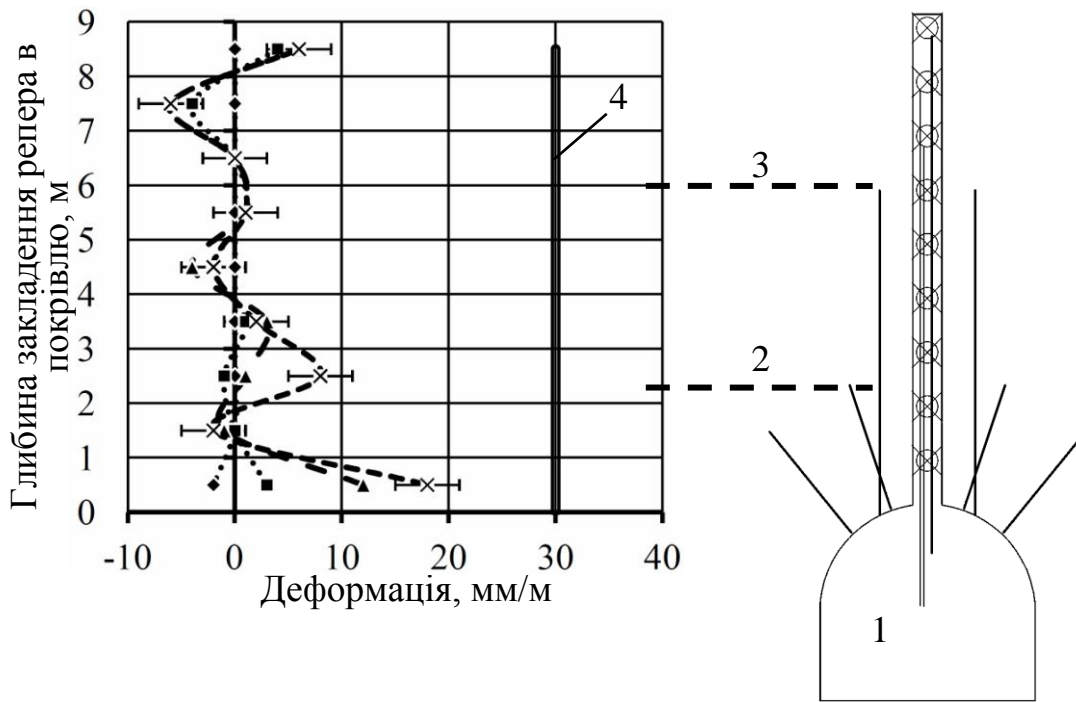


Рис. 3. Деформації масиву порід покрівлі 165-го штреку ш. «Степова» на різних відстані до очисного вибою: \blacklozenge - 90 м, \blacksquare - 46 м, \blacktriangle - 24 м, \times - 0 м, 1 – виробка, 2 – рівень закладення штангових анкерів, 3 – рівень закладення канатних анкерів, 4 – значення деформаційного критерію проф. Черняка, 30 мм/м

Максимальні зміщення деформації порід покрівлі отримані в зоні згасання процесу деформування виробки наведені на рис. 4.

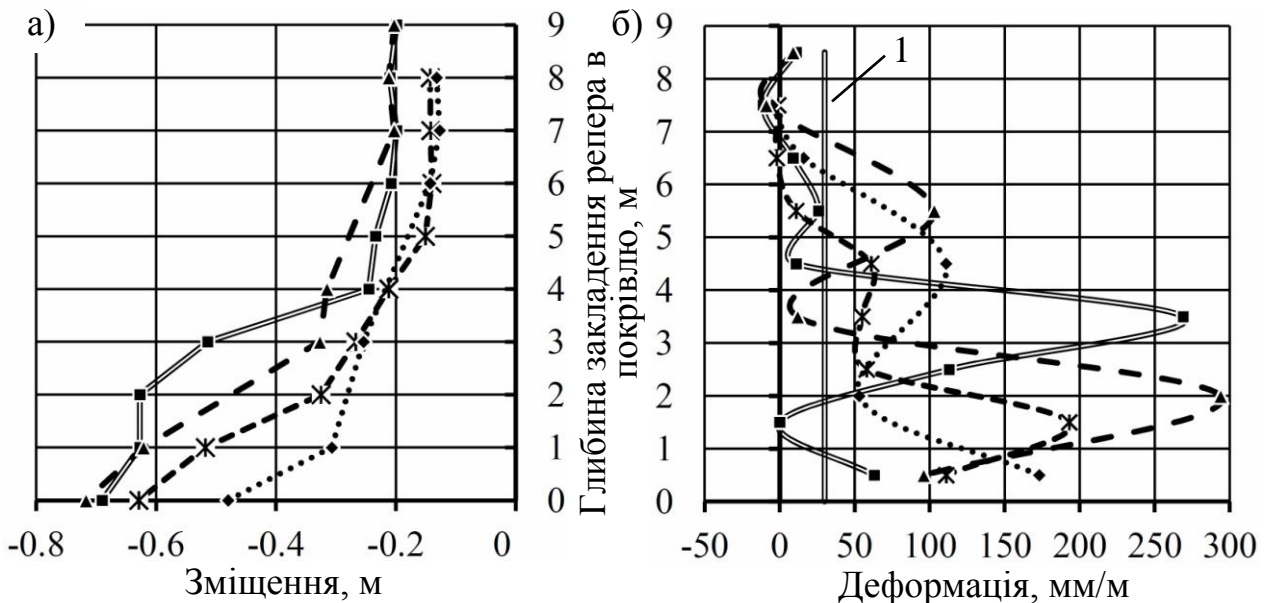


Рис. 4. Максимальні зміщення глибоких реперів (а) і деформації породного масиву (б) отримані в зоні згасання процесу деформування виробки за очисним вибоєм: \blacktriangle - 100 м, ж - 217 м, \blacklozenge - 237 м, \blacksquare - 277 м; 1 – значення деформаційного критерію проф. Черняка, 30 мм/м

За очисним вибоєм зони непружних деформацій формується до глибини 6 м покрівлю виробки. Породини інтервалів 6-

9 мв покрівлі виробки схильні до знакозмінних деформацій, значення яких не перевищує деформаційного критерію проф. Черняка І.Л. Геометричним рівелюванням зафіксовано опускання цього інтервалу на величину $0,17 \pm 0,04$ м в 100-270 м за очисним вибоєм.

Таким чином встановлено (рис. 5):

- розмір h_p зони непружних деформацій з розшаруванням порід покрівлі виробки;
- шари порід **A** (після проходочного вибою – положення **B**), схильні до деформацій, які можна віднести до пружних;
- величина опускання a пружнодеформованих породних шарів **A** (**B**).

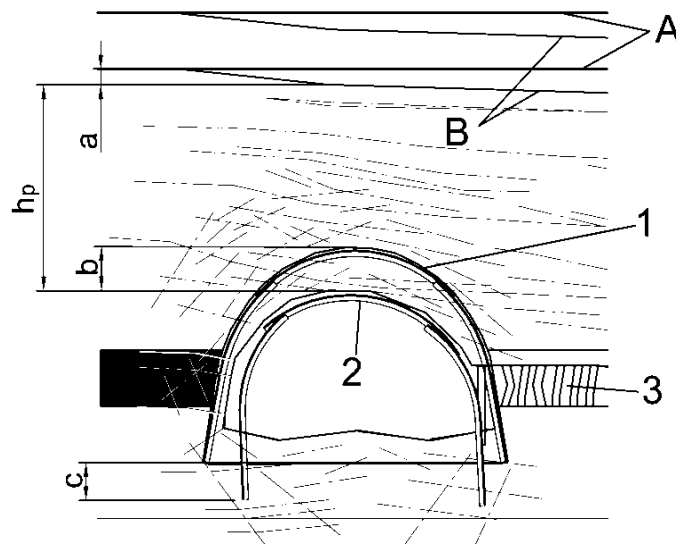


Рис.5. Схема деформування системи «кріплення-масив» виробки за очисним вибоєм лави в умовах слабких порід: 1 – положення аркового кріплення до впливу очисних робіт; 2 – положення аркового кріплення після деформування; 3 – охоронна конструкція; **A** – початкове положення шарів порід; **B** – положення пружнодеформованих породних шарів після виїмки пласта; **a** – величина опускання пружнодеформованих породних шарів; **b** – величина опускання покрівлі; h_p – висота зони непружних деформацій порід з розшаруванням; **c** – вдавлення стійки металевого аркового кріплення в підшву виробки

У четвертому розділі проведено дослідження впливу швидкості посування очисного вибою на деформування контуру підготовчої виробки.

Для дослідження впливу швидкості посування очисного вибою на деформування контуру підготовчих виробок в умовах слабо метаморфізованих порід шахт Західного Донбасу були проведені комплексні натурні дослідження на шахті «Степова». Привідробленні лав №157, 161 і 163 проводилося підтримання штреків №159, 163 і 165, середня швидкість посування очисного вибою складала відповідно 4, 3 і 7 м/добу. Виміри конвергенції штреків №159, 163 і 165 проводилися на маркшейдерських контурних спостережних станціях кількостю 5-6 шт. в кожній вироб-

ці. Приблизно на станції враховувалася глибина введення робіт так, щоб у всіх виробках вони перебували на горизонті 350-400 м, вибиралися ділянки з еквівалентним опором кріплення і реалізація їх охоронних заходів.

Суміщені графіки вертикальної конвергенції штреків наведені на рис. 6.

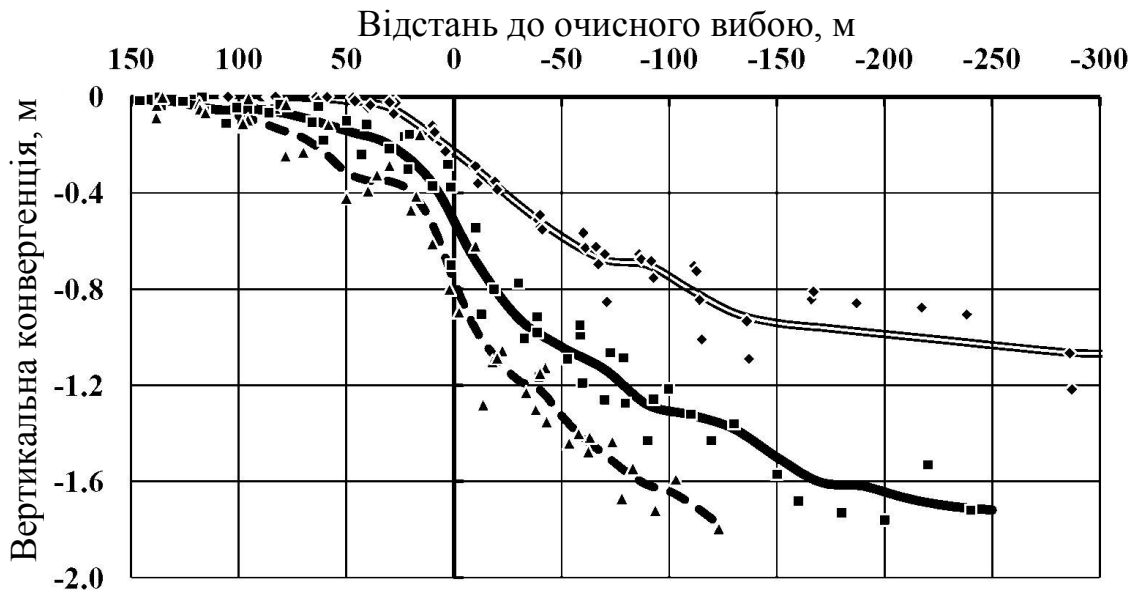


Рис. 6. Вертикальна конвергенція 163-го (▲), 159-го (■) і 165-го (◆) штреків залежно від відстані до очисного вибою.

Аналіз розвитку вертикальної конвергенції штреків дозволяє стверджувати, що в умовах слабких порід при збільшенні швидкості посування очисного вибою знижується ширина зони прояву опорного тиску перед дулави, а також зменшується величина вертикальної конвергенції.

Отримані значення швидкості розвитку вертикальної конвергенції наведені на рис. 7.

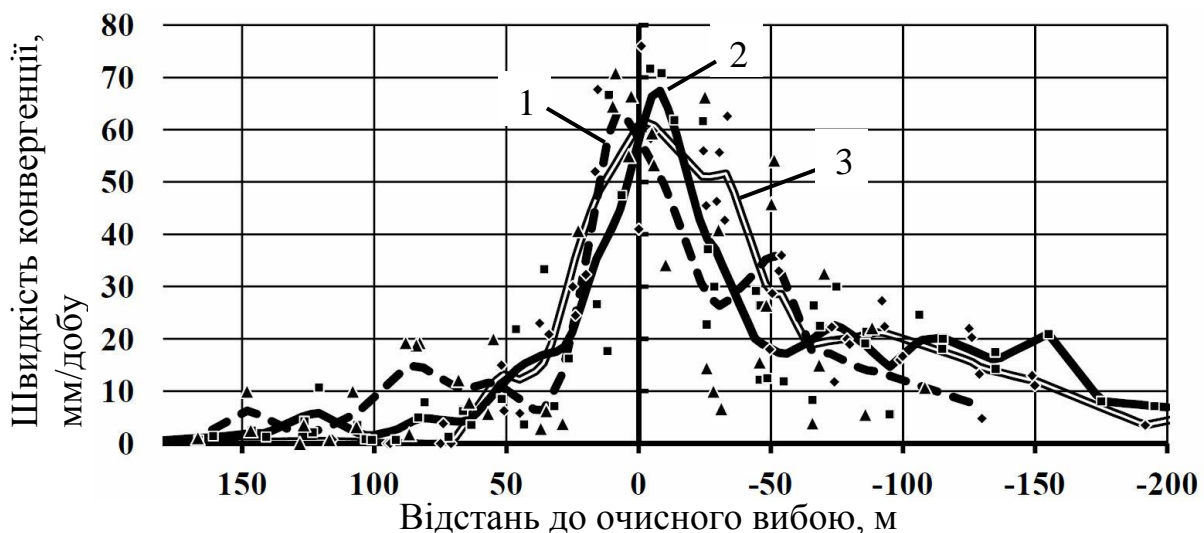


Рис. 7. Швидкість розвитку вертикальної конвергенції штреків залежно від відстані до очисного вибою: 1 (▲) - 163-й штрек; 2 (■) - 159-й штрек; 3 (◆) - 165-й штрек



Зменшення величини зміщень порід на сполученні «лава-штрек» відбувається відповідно до степеневого закону (рис. 8) й описується рівнянням:

$$Uc = 2.787v^{-1.237}; R = 0.89, \quad (1)$$

де Uc – величина конвергенції на сполученні «лава-штрек»; v – швидкість посування очисного вибою, м/сут.

Згідно з результатами обробки, середня максимальна швидкість деформування виробки залишається однаковою на сполученні «лава-штрек». Залежність (рис. 9) між швидкістю посування лави (v) і максимальним значенням швидкості конвергенції штреків на сполученні (Vc) описується рівнянням:

$$Vc = -0.414v + 64.7; R = 0.17 \quad (2)$$

Таким чином встановлено, що в однакових гірничотехнічних умовах швидкість посування очисного вибою і зміщення породного контуру виробки на сполученні «лава-штрек» знаходяться в зворотній залежності, а максимальна швидкість зміщень залишається

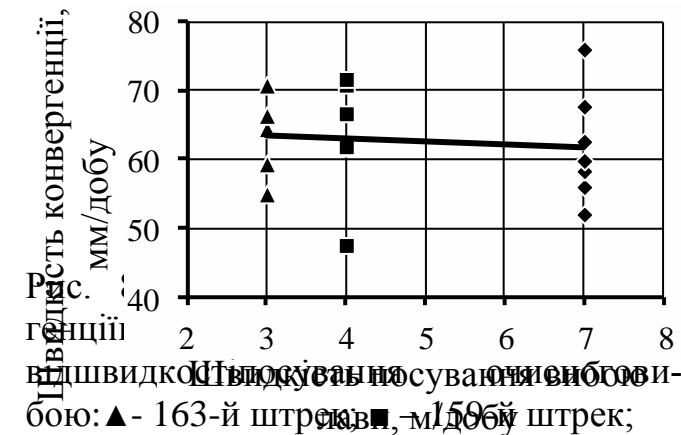
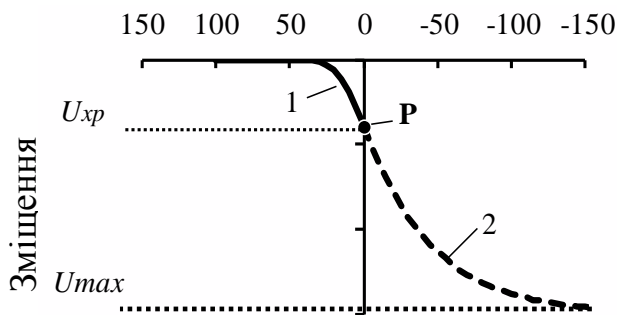


Рис. 9. Залежність максимальних швидкостей конвергенції в районі сполучення «лава-штрек» від швидкості посування очисного вибою: \blacktriangle - 163-й штрек; \blacksquare - 159-й штрек; \blacklozenge - 165-й штрек

я однаковою. При слабких бічних породах збільшення швидкості посування очисного вибою знижує накопичення деформацій попереду нього і на сполученні, що спричиняє зменшення втрат перерізу виробки не тільки в зазначених зонах, але й за вибоєм.

У п'ятому розділі наведено обґрунтування застосування логістичної функції для опису процесу зміщень елементів системи «кріплення-масив» в гірничих виробках.

Особливістю розвитку вертикальної конвергенції в зоні впливу очисної конвергенції в зоні впливу очисних робіт є доволі наасиметричний характер графіка цього процесу щодо точки перегину в різних гірничотехнічних умовах. По-



казником асиметрії прийняте відношення величин зміщень в точці перегину (U_{xp}) до величин максимальних зміщень (U_{max}) за очисним вибоєм U_{xp}/U_{max} (рис. 10).

Для встановлення меж відношення U_{xp}/U_{max} було проаналізовано 26 результатів U_{xp}/U_{max} було проаналізовано 26 результатів натурних спостережень за процесом конвергенції виробок в різних гірничо-геологічних умовах встановлено, що значення цього показника змінюється в діапазоні 0,19-0,67 в наступних гірничотехнічних умовах: глибина ведення гірничих робіт – 170÷1000 м, міцність порід на одні осевий стиск – 10÷80 МПа, швидкість посування очисного вибою – 1,7÷7,5 м/доб.

Беручи до уваги характерні особливості графіка зміщень порід, для його опису обґрунтовано застосування логістичних функцій, серед яких оптимальною є асиметрична функція Річардса. Виконана її адаптація, в результаті якої забезпечений діапазон значень показника асиметрії U_{xp}/U_{max} 0÷0,63, що практично повністю забезпечує відповідність натурним даним. Остаточний вигляд функції:

$$U = U_{max} - U_{max} \left(1 - \frac{e^{\frac{d \cdot x_p}{m}} \cdot e^{-d \cdot L}}{m}\right)^m \quad (3)$$

де U – величина зміщення порід; L – відстань до очисного вибою, U_{max} – максимальна величина зміщень за очисним вибоєм, x_p – абсциса точки перегину, d – параметр функції, що визначає швидкість зміщень порід, m – параметр функції, що визначає її асиметрію.

Графіки функцій зміщень (3) і швидкостей зміщень, як похідної від (3) при різних значеннях параметрів наведено на рис. 11.

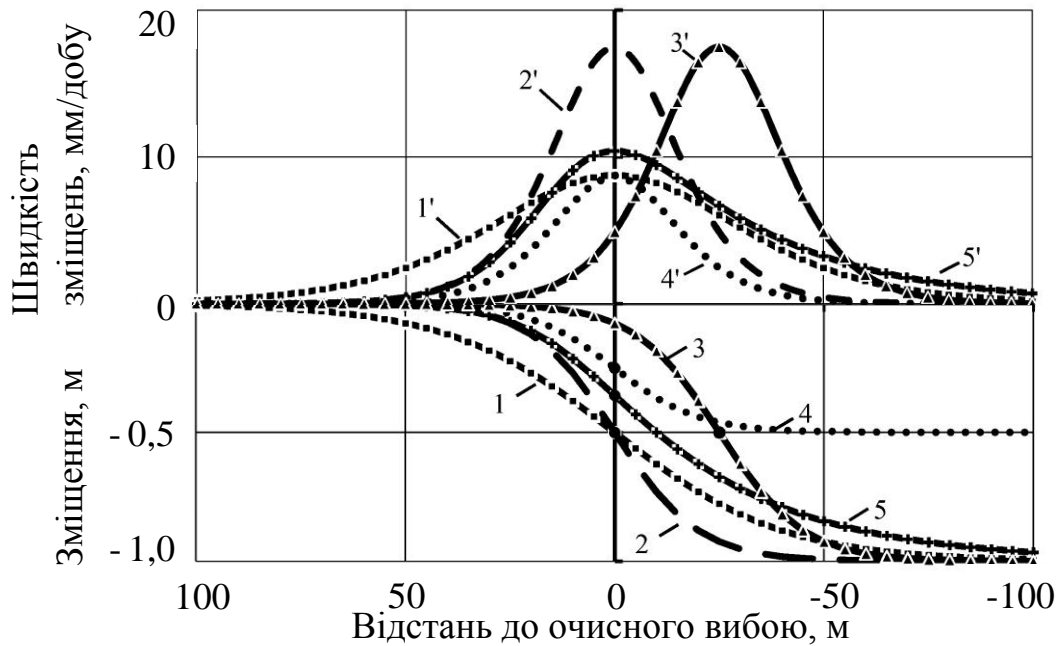


Рис. 11. Наочний вигляд графіків зміщень (1-5) та швидкостей зміщень (1'-5') що задаються логістичною функцією та її похідною при різних значеннях параметрів. Вихідні параметри: 1 – $U_{max}=1$, $d=0.05$, $m=-0.1$, $x_p=0$; змінені значення параметрів: 2 – $d=0.1$; 3 – $x_p=-25$, $d=0.1$; 4 – $U_{max}=0.5$; 5 – $m=-0.3$.

Визначення значень параметрів функції проводиться шляхом апроксимації вимірних величин зміщення елементів системи «кріплення-масив». При відомих значеннях параметрів, функція виконує роль моделі зміщення порід для конкретних гірничотехнічних умов. Оскільки параметри d та m безпосередньо впливають на значення швидкості зсувів, то пропонується калібрування моделі, яке полягає в додатковій апроксимації швидкостей зміщень похідною від (3) і подальшим усередненням значених параметрів, отриманих в результаті обох апроксимацій.

Функція була верифікована за наступними критеріями:

- задовільний опис різних за значенням показника асиметрії U_{x_p}/U_{max} графіків зміщень порід;

- наявність залежностей між параметрами функції і гірничотехнічними факторами.

За результатами проведених досліджень встановлено, що функція дозволяє достовірно описати конвергенцію підготовчої виробки в зоні впливу очисних робіт при різних значеннях показника асиметрії і якісно враховує зміну гірничотехнічних умов. Це підтверджується значеннями середнього абсолютного відхилення між вимірними та розрахунковими зміщеннями до 0.050 м, коефіцієнта детермінації не нижче 0.95, та встановленими залежностями між значеннями параметрів і значеннями гірничотехнічних факторів, таких як опір кріплення і швидкість посування лави, з коефіцієнтом кореляції не нижче 0.9.

У шостому розділі наведені на прямі використання результатів досліджень. Результати, отримані в розділі 3, використовуються при обґрунтуванні параметрів установа канатних анкерів і підпірного кріплення для підтримання виробки на сполученні «лава-штрек» із очисним вибоєм. Довжина канатних анкерів повинна забезпечувати їх закріплення за межею зони дезінтеграції порід. Підпірне кріплення та охоронна конструкція повинні забезпечувати податливість на величину рівномірного опускання пружнодеформованих (згідно з критерієм проф. Черняка І.Л.) породних шарів.

Результати, отримані в розділах 4–5, використовуються при прогнозуванні конвергенції виробок статистико-аналітичним методом. Як модель зсувів приймається адаптована логістична функція, а граничних умов - виміряні величини зміщень елементів системи «кріплення-масив» підготовчих виробок при різних значеннях гірничотехнічних факторів. Прогнозування здійснюється шляхом апроксимації функцією виміряних даних та встановленні залежностей між значеннями її параметрів і гірничотехнічних факторів, за яких проводяться виміри. За встановленими залежностями розраховуються параметри моделі та будуються прогнозні графіки зміщень. Використання цього підходу і результатів вимірювань конвергенції виробок, наведених в розділі 4, дозволило виконати прогнозування конвергенції виробки з урахуванням різної швидкості посування очисного вибою для умов слабких бічних порід Західного Донбасу (рис. 12). Середні абсолютні відхилення виміряних і розрахункових значень склали від 0.05 до 0.15 м.

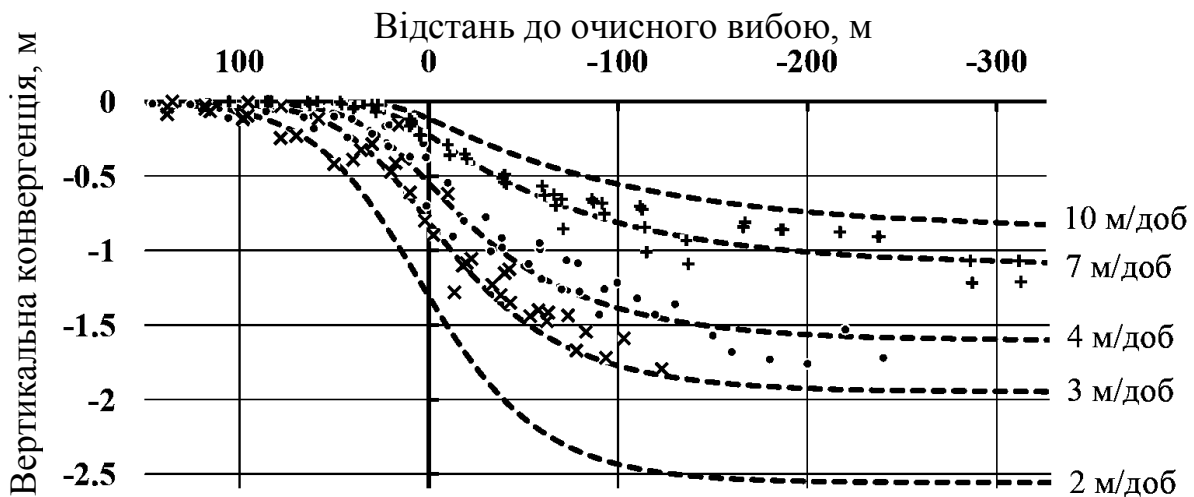


Рис. 12. Прогнозовані значення вертикальної конвергенції виробки при різних швидкостях посування очисного вибою в умовах ш. «Степова», та виміряні дані в 159-м (•), 163-м (×) і 165-м (+) штреках.

ВИСНОВКИ

Дисертація завершеною науково-дослідною роботою, яка, на підставі перше встановлених просторово-часових закономірностей деформування підготовчих виробок зони впливу лави, вирішено актуальна науково-

практичне завдання підвищення стійкості та прогнозування зміщень контуру виробок для умов слабких порід вугільних шахт Західного Донбасу.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Обґрунтована методика застосування геометричного нівелювання контурних та глибинних реперів, що дозволило підвищити надійність одержуваних результатів та оцінити їх точність. Виконано оцінку точності визначення деформацій порід за допомогою глибинних реперів та встановлення висотних відміток контурних і глибинних реперів за допомогою геометричного нівелювання в шахтних умовах.

2. Встановлені параметри зони непружних деформацій порід покрівлі підготовки виробки в області впливу очисних робіт та характер поведінки масиву вище цієї зони у вигляді опускання породних шарів без розшарування. Висота дезінтеграції порід в покрівлю штреку в умовах слабо метаморфізованих порід призначенні показника проф. Заславського $0,3-0,4$ становить 6 м , а опускання верхніх породних шарів відбувається на величину $0,17 \pm 0,04\text{ м}$. Отриманий результат використаний при обґрунтуванні необхідної довжини канатних анкерів та податливості підпірного кріплення.

3. Встановлено, що вдавлювання стійкої каркасової металевий кріплення в підлогу виробки становить $70-100\%$ від величини опускання верхнього елемента, що призводить до посилення податливого режиму та збільшення навантаження на кріплення. Згідно отриманого результату, рекомендується застосування підкладок та під'ятників під стійки кріплення в зоні впливу очисних робіт не тільки в умовах слабких порід, а й при їх середній міцності.

4. Швидкість посування очисного вибою та конвергенція виробки знаходяться в зворотній залежності. При цьому встановлена сталість максимальної швидкості конвергенції на сполученні «лава-штрек» в однакових гірничотехнічних умовах. Збільшення швидкості посування очисного вибою дозволяє зменшити час перебування ділянки виробки в зоні інтенсивних деформацій, що знижує їх накопичення та призводить до зменшення величини зміщень за очисним вибоєм.

5. Для опису зміщення елементів системи «кріплення-масив» в координатах «відстань до очисного вибою-зміщення» використано чотири параметрична логістична асиметрична функція, що відрізняється безперервністю та доволі вільним положенням точки перегину, що враховує характер розвитку зміщень в зоні впливу лави.

6. Значення параметрів функції визначаються при апроксимації зміщень, виміряних в гірських виробках. Між значеннями параметрів та гірничотехнічних факторів встановлюються залежності, які дозволяють використовувати функцію як модель розвитку процесу зміщень. Це дозволило розробити статистико-аналітичну модель деформування виробки з урахуванням швидкості посування очисного вибою для умов слабких порід.

7. Результати досліджень використання при обґрунтуванні параметрів кріплення підготовчих виробок шахти «Степова» з використанням канатних анкерів. Це дозволило виключити посилююче стійкове кріплення на сполученні «лава-штрек» та збільшити швидкість посування очисного вибою. Очікуваний економічний ефект склав 73.2 млн. грн. на одну лаву.

Основні положення та результати дисертації опубліковано в роботах:

1. Барышников А.С. Маркшейдерский мониторинг подготовительных выработок / А.С. Барышников, А.М. Винник // Геотехническая механика: межведомственный сборник научных трудов. – 2012. – Вып. 103. – С. 269-274.

2. Барышников А.С. Использование канатных анкеров в выемочных выработках в условиях слабых боковых пород / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников, С.А. Воронин, А.В. Ефремов, В.В. Панченко // Уголь Украины. – 2013. – №6. – С. 24-26.

3. Барышников А.С. Исследование деформирования пород кровли выемочных выработок / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. №13, ч.І. – 2013. – С. 21–30.

4. Барышников А.С. Закономерности внедрения стоек крепи в почву выработки / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников // Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 1 (18). – С. 223-227.

5. Baryshnikov A. Substantiation of cable bolts installation parameters in condition of soft hoist rocks / Yu. Khalymendyk, V. Khalymendyk, A. Baryshnikov // Progressive technologies of coal, coalbed methane and ores mining. – Netherlands: CRC Press / Balkema. – 2014. – P. 79-85.

6. Барышников А.С. О деформировании системы «крепь-массив» в условиях слоистых пород глубоких шахт / Ю.М. Халимендик, В.Ю. Халимендик, А.С. Барышников // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. №14, ч.І. – 2014. – С. 100–112.

7. Барышников А.С. Использование канатных анкеров для поддержания выемочных штреков / А.С. Барышников // Проблемы недропользования: международный форум-конкурс молодых ученых (24-26 апреля 2013 г., г. Санкт-Петербург). – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – Часть I. – С. 88-90.

8. Барышников А.С. Применение канатных анкеров в условиях слабых боковых пород / Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников // Наукова весна – 2013: матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (29 березня 2013 р., м. Дніпропетровськ) – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – 1 опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium 2; 32 Mb RAM; Windows 95-XP; MS Word 95-2007; Назва з титул. екрану. – С. 205-206.

9. Барышников А.С. Использование канатных анкеров для поддержания штреков в условиях слабых боковых пород / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников // Форум гірників: матеріали міжнародної конференції (2-5 жовтня 2013 р., м. Дніпропетровськ) – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – С. 69-74.

10. Барышников А.С. Влияние скорости подвигания очистного забоя на деформирование контура подготовительной выработки в условиях слабомета-

морфизованих породах / Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников // Форум гірників: матеріали міжнародної конференції (30 вересня - 3 жовтня 2015 р., м. Дніпропетровськ) – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – С.121-128.

11. Baryshnikov A. The geometric monitoring over deforming of the “support – rock massif” system in mine workings / Iu. Khalymendyk, A. Baryshnikov // 15. Geokinematischertag (15 und 16 Mai 2014) – Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 2014. – С. 138-143.

12. Baryshnikov A. The deformation of the gateroads during longwall mining / Iu. Khalymendyk, A. Baryshnikov // 16. Geokinematischer tag (07 und 08 Mai 2015) – Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 2015. – Р. 225-231.

13. Барышников А.С. Исследование деформации пород кровли выемочных выработок / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А.С. Барышников // Розробка родовищ 2013: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки» (22-27 вересня 2013, смт. Гаспра) – Д.: Літограф, 2013. – С. 143-146.

14. Baryshnikov A. Usage of cable bolts for gateroad maintenance in soft rocks. / Iu. Khalymendyk, A. Brui, A. Baryshnikov // Journal of Sustainable Mining, 13(3), Central Mining Institute, Katowice, 2014. – Р. 1–6.

Особистий внесок автора у роботу, що надруковані у співавторстві: [1, 9] – обґрунтування параметрів встановлення канатних анкерів та підпірного кріплення; [2, 4, 11, 13] – розробка методики та результати інструментальних спостережень за деформуванням системи «кріплення-масив» підготовчих виробок; [3, 5, 6, 8, 14] – проведення натурних спостережень та аналіз отриманих даних; [10, 12] – аналіз результатів досліджень, встановлення залежності деформування виробки від швидкості посування очисного вибою.

АНОТАЦІЯ

Барышников А.С. “Закономірності деформування системи «кріплення-масив» у слабких породах у зоні впливу очисних робіт”. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.01 – “Маркшейдерія” – Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання встановлення закономірностей деформування системи «кріплення-масив» у слабких породах у зоні впливу очисних робіт, які використовуються при прогнозуванні стану та підтриманні підготовчих виробок, що дозволяє збільшити їх стійкість, забезпечити повторне використання та інтенсифікацію гірничих робіт.

Наукові дослідження включали обґрунтування, оцінку точності і проведення натурних маркшейдерських спостережень та аналітичне моделювання зміщень елементів системи «кріплення-масив» підготовчих виробок в зоні впливу очисних робіт в слабкометаморфізованих породах.

Комплексні маркшейдерські спостереження дозволили встановити закономірності деформування порід покрівлі підготовчої виробки, характер вдавлювання стійок аркового кріплення в підшву виробки, а також залежності між швидкістю посування очисного вибою та величинами конвергенції й швидкості конвергенції.

В результаті аналітичних досліджень виконаний достовірний математичний опис зміщень порід виробки та прогнозування їх величин в зоні впливу лави з використанням адаптованої асиметричної логістичної функції.

Результати натурних спостережень та аналітичних досліджень дозволили розробити методику прогнозування конвергенції виробки з урахуванням швидкості посування очисного вибою. Встановлені закономірності деформування порід покрівлі використані при обґрунтуванні параметрів установки канатних анкерів в 165-м штреку ш. «Степова», що дозволило підтримати виробку без застосування стійкового кріплення на сполученні «лава-штрек» з очікуваним економічним ефектом в розмірі 73.2 млн. грн. на одну лаву.

Ключові слова: система «кріплення-масив», зміщення порід, маркшейдерські зйомки, швидкість посування очисного вибою, слабкі породи, вдавлювання стійок кріплення, логістична функція, канатні анкери, зона дезінтеграції.

АННОТАЦИЯ

Барышников А.С. «Закономерности деформирования системы «крепь-массив» в слабых породах в зоне влияния очистных работ». – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.01 – «Маркшейдерия». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2016.

Диссертация посвящена установлению закономерностей деформирования системы «крепь-массив» в слабых породах в зоне влияния очистных работ, которые используются при прогнозировании состояния и поддержании подготовительных выработок, что является актуальной научно-практической задачей.

В результате анализа нормативных документов и литературных источников установлено, что при расчете смещений породного контура подготовительных выработок и параметров крепи не учитывается скорость подвигания лавы и влияние сдвигания толщи пород кровли за зоной дезинтеграции пород. Недостаточно изучены закономерности деформирования выработки при различной скорости подвигания очистного забоя. Выявлены недостатки существующих функций, используемых для описания и прогнозирования смещений пород.

Научные исследования включали обоснование и проведение натурных маркшейдерских наблюдений и аналитическое моделирование смещений элементов системы «крепь-массив» подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ в слабых метаморфизованных породах.

Выполнено обоснование применения геометрического нивелирования контурных и глубинных реперов, произведена оценка точности определения деформаций пород, обоснованы параметры заложения глубинных реперов и точность измерений. Комплексными маркшейдерские наблюдения проведены в пяти выработках, общее количество наблюдательных станций составило 53, реперов – 194, в результате чего установлено:

- размеры зоны дезинтеграции пород в кровле подготовительной выработки и величина равномерного опускания вышележащего породного массива;
- характер внедрения стоек крепи в почву при ее выдавливании и отсутствии такового в условиях слабых и средней крепости пород;
- обратная зависимость между скоростью подвигания очистного забоя и величиной конвергенции выработки на сопряжении «лава-штрек», при этом скорость конвергенции остается неизменной при одинаковых горнотехнических условиях.

Целью аналитических исследований являлось математическое описание смещений пород выработки и прогнозирование их величин в зоне влияния лавы. В качестве функции, описывающей конвергенцию в системе координат «смещение – расстояние до очистного забоя», обоснован выбор асимметричной логистической функции Ричардса и выполнена ее адаптация с целью применения в различных горнотехнических условиях. Проверена способность функции достоверно описывать смещения пород контура выработки при различных значениях показателя асимметрии и установлены зависимости между значениями параметров функции и влияющих горнотехнических факторов, таких как отпор крепи и скорость подвигания очистного забоя.

Результаты натурных наблюдений и аналитических исследований позволили разработать методику прогнозирования конвергенции выработки с учетом скорости подвигания очистного забоя. Установленные закономерности деформирования пород кровли использованы при обосновании параметров установки канатных анкеров в 165-м штреке ш. «Степная», что позволило поддержать выработку без применения стоечной крепи на сопряжении «лава-штрек» с ожидаемым экономическим эффектом в размере 73.2 млн. грн. на одну лаву.

Ключевые слова: система «крепь-массив», смещение пород, маркшейдерские съемки, скорость подвигания очистного забоя, слабые породы, вдавливание стоек крепи, логистическая функция, канатные анкеры, зона дезинтеграции.

ABSTRACT

Baryshnikov A.S. “Objective laws of a system “support - rock mass” deformation in soft rocks in area of longwall influence” – Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.15.01 – “Mine Surveying”. State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2016.

Thesis is devoted to solving important scientific and practical task of establishing the objective laws of a system “support - rock mass” deformation in soft rocks in the

area of longwall influence, which are used for the prediction of the gateroads condition and their maintenance, that increases stability, allows for the gateroads re-use and intensification of mining works.

Comprehensive mine surveying observations allowed for the establishment of: the gateroad roof rocks deformation laws; the nature of the support's racks penetration into the floor; the functional connection between the longwall face advance rate and the values of convergence and convergence speed.

As a result of analytical research the reliable mathematical description of the displacements of the gateroad's surrounding rocks and the prediction of their values in the zone of longwall using asymmetric adapted logistic function are performed.

The results of the in-situ observations and the analytical research allowed for the development of the gateroad convergence forecasting method that takes into account the longwall face advance rate. The objective laws of the gateroad's roof rocks deformation are used for the substantiation of cable bolts installation parameters, that made it possible to maintain the gateroad without mounting of support props at the intersection "longwall face – gateroad" with the expected economic benefit of 73.2 mln UAH per one longwall.

Keywords: system "support - rockmass", rocks displacement, mine surveying observations, longwall face advance rate, soft rocks, support's racks penetration into the floor, logistic function, cable bolt, zone of disintegrated rocks.

БАРИШНІКОВ Анатолій Сергійович

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ
«КРІПЛЕННЯ-МАСИВ» У СЛАБКИХ ПОРОДАХ
У ЗОНІ ВПЛИВУ ОЧИСНИХ РОБІТ**

(Автореферат)

**Підп. до друку __. __. 2016. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № __.**

**Державний вищий навчальний заклад
“Національний гірничий університет”
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**