

**ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ  
ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК У ПОРОДАХ, ЩО ЗДИМАЮТЬСЯ**

*На підставі закономірностей деформування приконтурного масиву навколо підготовчої виробки, біфуркаційної теорії здимання підшоши і встановлених критеріїв здимання запропонований спосіб підвищення стійкості протяжних виробок у породах, що здимаються, з використанням анкерного кріплення.*

**Вступ.** Надзвичайна складність проблеми здимання порід підшоши не дозволила дотепер знайти рішення, що були б достатньо ефективні і надійні у забезпеченні експлуатаційного стану гірничих виробок. Зі збільшенням глибини розробки інтенсивність здимання порід підшоши зростає, в окремих випадках представляючи характер катастрофічного явища. Аналіз застосування способів боротьби зі здиманням у складних гірничо-геологічних умовах і ступеню їх ефективності показав, що доволі часто єдиним засобом боротьби зі здиманням порід підшоши вважають підривання спучених порід – досить трудомісткий та практично немеханізований вид ремонту підготовчих виробок. У зв'язку з цим, пошук ефективних засобів боротьби зі здиманням підшоши є однією з першорядних і актуальних народногосподарських задач.

**Постановка задачі.** Численні шахтні дослідження показують, що розвиток геомеханічних процесів навколо виробок, при їх проведенні відбувається однаково. Чітко виділяються три області, в яких інтенсивність процесів різна і тому параметри способів управління станом виробки на кожному етапі повинні бути відповідними.

Етап 1 характеризується тим, що вплив забою значний, а зміщення контуру малі і знаходяться в межах пружних деформацій. Довжина цієї ділянки виробки не перевищує  $2D$  ( $D$  – діаметр виробки) [1–3]. Зведення на цій ділянці податливого кріплення істотно не впливає на стан масиву, оскільки при існуючій технології його зведення воно фактично вступає в роботу з породним контуром далеко від забою.

Етап 2 характеризується формуванням зони непружних деформацій (ЗНД). Тривалість цього етапу залежить від ряду факторів, головними з яких є глибина розташування виробки і міцність вміщуючих порід. За даними [2, 3], у виробках, закладених у слабких породах з  $R_c$  менш 80 МПа, найбільша інтенсивність зсувів контуру і ріст ЗНД відбувається протягом першого місяця після проведення. У міцних породах тривалість збільшується до 2–4 місяців. Проаналізувавши результати натурних спостережень, більшість дослідників [1–5 та ін.] дійшли до висновку, що основною причиною руйнування кріплення є її недостатня податливість.

Першому етапові відповідає найбільший рівень потенційної енергії і, відповідно, найменші переміщення контуру (деформування системи). На другому етапі енергетичний рівень різко знижується – значна частина потенційної енергії витрачається на розрив структурних зв'язків, розміцнення і розпушення приконтурного масиву. При цьому утворюється область непружних деформацій таких розмірів, що забезпечує статичну рівновагу системи «масив–виробка–кріплення». Ідеальним випадком є стабілізація геомеханічних процесів при досягнутих розмірах ЗНД і зміщеннях контуру виробки (рис. 1, а). Тому закінчення другого етапу є ідеальним з погляду управління станом геомеханічної системи «масив–виробка–кріплення». Теоретично це можна здійснити, застосовуючи кріплення з регульованою несучою здатністю, що працює в податливому режимі протягом перших двох етапів і переходить у жорсткий режим роботи в період стабілізації геомеханічної ситуації в масиві навколо виробки.

Природної стабілізації деформаційних процесів, як правило, не відбувається, про що свідчать незатухаючі зміщення породного контуру протягом тривалого часу експлуатації виробки (рис. 1, б). Останні викликані не проведенням самої виробки, а низкою інших факторів. Як відомо, порушені породи приконтурної зони, а також породи III категорії стійкості (за БНіП II-94-80) досить чутливі до будь-яких додаткових впливів (зволоження, втрата вологості, вплив буропідривних або очисних робіт, близько розташованих виробок і тощо), що негайно виявляється у вигляді зміщень контуру, підвищенні тиску на кріплення. При цьому ріст зміщень під впливом додаткових впливів відбувається в основному в результаті збільшення ступеня розпушення приконтурних порід, а не через збільшення розмірів ЗНД. Цей факт відзначався І.Л. Черняком [4] при аналізі впливу очисних робіт на стійкість виробок та іншими вченими.

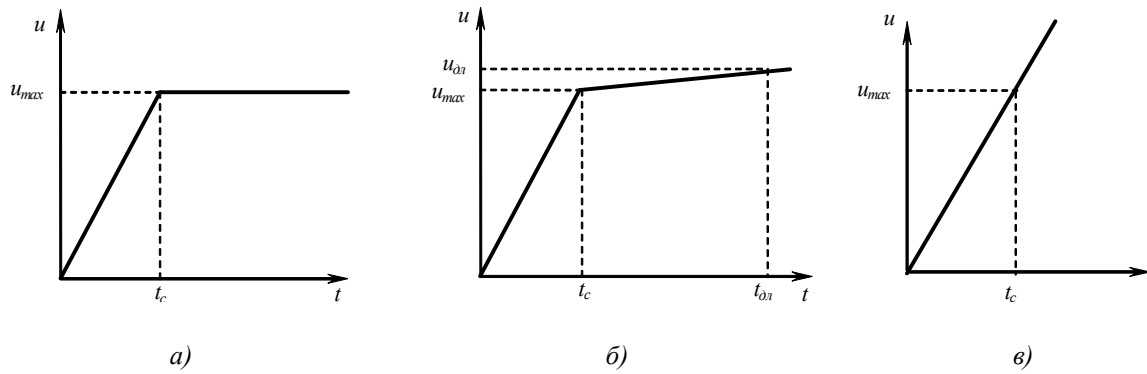


Рис. 1. Залежність зміщень контуру виробки від часу

Часто можливий й інший характер розвитку деформаційного процесу. Якщо до кінця другого етапу несучої здатності податливого кріплення недостатньо для зупинки зміщень контуру, то відбувається подальший процес руйнування гірських порід. Характер деформування приконтурного масиву в цьому випадку має вигляд (рис. 1, в).

Виходячи зі сформованої на даному етапі геомеханічної ситуації, зберегти стійкість (рівновагу) системи «масив–виробка–кріплення» можна шляхом створення в приконтурній зоні умов, що перешкоджають подальшій втраті міцності порід, підвищивши їх несучу здатність шляхом зміцнення хімічними (в'язучими речовинами) або механічними (анкерами) способами, а також збільшивши несучу здатність кріплення і, бажано, ізолювавши приконтурний масив від впливу рудничної атмосфери і зволоження.

Якщо кріплення або вжиті заходи не відповідають зазначеним умовам, то ситуація розвивається таким чином. З ростом зовнішнього навантаження розміри ЗНД збільшуються, зберігаючи якийсь час рівновагу системи. Але при досягненні деяких критичних її розмірів відбувається відносно швидкий перехід системи з другого енергетичного стану в третій, що характеризується наявністю аномально великих переміщень на контурі виробки – здиманням порід (етап 3). При цьому швидкість переходу визначається, перш за все, особливостями структурної будови породного масиву. Для крихких порід швидкість переходу може бути дуже високою, для порід, що містять велику кількість глинистих часток, швидкість буде порівняно невеликою, а подальший процес тривалим.

У [6] поставлена і вирішена задача про втрату пружнопластичної рівноваги приконтурного масиву, що призводить до здимання порід підшови (рис. 2). В результаті отриманий критерій здимання у вигляді:

$$\bar{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 = 0, \tag{1}$$

де  $\bar{\varepsilon}_v$  – середнє значення відносного збільшення обсягу порід у межах ЗНД;  $r_L^*$  – відносний критичний радіус області пластичних деформацій.

Вираз (1) визначає можливість переходу породного масиву навколо виробки з одного стійкого рівноважного стану в інший, що супроводжується здиманням порід підшови. Фізична суть його полягає в наступному. В процесі непружного розширення порід у замкнутому обсязі з жорсткими зовнішніми розмірами ( $r = r_L$ ) відбувається переміщення внутрішнього контуру ( $r = 1$ ). Доти, поки ці переміщення не досягнуть деякої критичної величини, внутрішній контур зберігає первісну форму. При досягненні ж критичних значень переміщень відбувається різке викривлення форми внутрішньої границі, що супроводжується зменшенням рівня потенційної енергії в приконтурній зоні і великими переміщеннями контуру виробки.

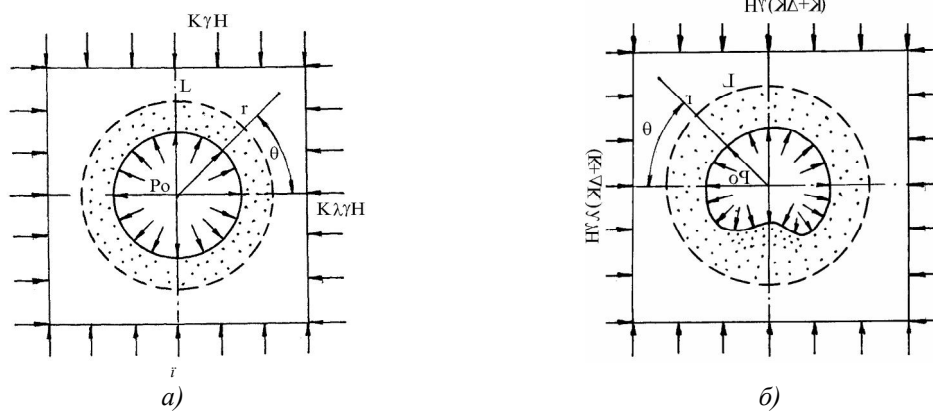


Рис. 2. Розрахункова схема до рішення задачі про втрату пружно-пластичної рівноваги приконтурного масиву : а – первісний стан системи; б – збурений стан

У випадку, якщо вираз (1) менше нуля, то у виробці відбудеться здимання порід підшоши. Зв'язок між величинами, що входять у (1), апроксимується виразом:

$$r_L^* = 1 + \bar{\varepsilon}_v^{-0,4}. \tag{2}$$

Добре обгрунтований, з погляду фізики протікання процесу, запропонований критерій не зовсім зручний, оскільки визначити величину  $r_L^*$  з достатньою точністю в шахтних умовах практично неможливо. Більш зручним показником для оцінки стану виробки і порід навколо неї є зміщення контуру виробки, що легко визначити в натурних умовах. Іншими словами сформулювати суть явища можна так: збільшення обсягу породного масиву  $\bar{\varepsilon}_v$  навколо виробки обмеженого критичним радіусом ЗНД  $r_L^*$ , призводить до критичних зміщень контуру виробки  $u^*$ , після чого відбувається різке викривлення форми внутрішньої границі і виникають великі переміщення на контурі виробки – початок некерованого процесу здимання порід підшоши.

У [7], на основі базового рішення (2) про критичний радіус ЗНД, запропонований більш практичний критерій, заснований на критичній величині зміщень порід:

$$u_y^* = 0,006 \left( 14,7 + \sqrt{1 - 67,2\varepsilon_v} \right) \left[ \exp \left( -\frac{1}{NB} \right) - 1 \right], \tag{3}$$

а для умов негідростатичного розподілу зовнішніх навантажень ( $\lambda \neq 1$ ):

$$u_y^* = 0,006 \left( 14,7 + \sqrt{1 + 67,2\varepsilon_v} \right) \left[ \exp \left( -\frac{(1+\lambda)}{2NB} \right) \left( 1 - \frac{(1-\lambda)}{NB} \right) - 1 \right] \varepsilon_v. \tag{4}$$

де  $u_y^* = U/R_0$  – величина критичних зміщень контуру виробки, при якій починається некерований процес здимання порід підшоши;  $U$  – абсолютна величина зміщень контуру виробки;  $R_0$  – радіус виробки,

$B = \frac{r_L^2 - k_{ocm}}{1 - r_L^2}$ ;  $k_{ocm} = \frac{R_{ocm}}{R_c}$  – коефіцієнт залишкової міцності;  $R_{ocm}$  – залишкова міцність порід на контурі,

$N = \theta \sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)}{\theta}}$ ;  $\theta = \frac{R_c}{\gamma H}$  – показник умов розробки;  $\psi = R_p/R_c$  – коефіцієнт крихкості порід;

$R_p, R_c$  – межі міцності зразків гірських порід на одноосьове розтягання і стиск (для пластичного середовища  $0 \leq \psi \leq 1$ ).

**Ціль досліджень.** Приймаючи за фізичну модель здимання порід підшоши на великих глибинах розробки описану вище біфуркаційну модель, а за критерії здимання – критичну величину радіуса ЗНД  $r_L^*$  і критичні зміщення контуру виробки  $u^*$ , розглянемо можливість застосування анкерного кріплення як одного зі способів боротьби зі здимання порід підшоши.

**Аналіз досвіду застосування анкерного кріплення зі здимання порід підшоши.** На сьогоднішній день є численні випадки застосування анкерів для попередження або зниження величини здимання порід підшоши [8–11 та ін.], хоча не можна сказати про їх широке використання.

Слід відразу ж зазначити, що анкерування тільки підшоши виробки менш ефективно, чим покрівлі і боків для зниження інтенсивності здимання порід підшоши. Це саме добре узгоджується з біфуркаційною моделлю здимання порід підшоши і викладеними вище представленнями про розвиток геомеханічних процесів навколо виробки. Негативним фактором є те, що породи підшоши під час експлуатації виробки піддаються інтенсивному механічному і хімічному впливу, зовнішній шар ґрунту швидко втрачає

суцільність і міцність. В результаті несуче зусилля встановлених анкерів знижується практично до нуля, після чого породи підшви безперешкодно зміщуються у виробку [9]. Практично ефективність анкерного кріплення звелася, у більшості випадків, до тимчасового зниження інтенсивності здимання порід підшви. У перший період спостережень на закріплених ділянках швидкість здимання порід підшви була в 1,5–2 рази нижча, ніж на суміжних незакріплених ділянках, внаслідок чого термін першого підривання троху відсувався. У наступний період наявність анкерних штанг у підшві відіграло тільки негативну роль – витягти їх було, як правило, неможливо і це ускладнювало виконання ремонтних робіт з підривання.

Треба відзначити, що ефективність тих або інших мір боротьби зі здиманням порід підшви залежить багато в чому від того, наскільки відповідають прийняті представлення реальній природі процесу. В основі більшості уявлень про механізм здимання порід підшви лежить передумова про незначну глибину зони зрушення порід у підшві виробки. Виходячи з цього, цілий ряд способів боротьби зі здиманням виявився неефективним і навіть спричинив за собою додаткові витрати на ліквідацію наслідків здимання порід підшви і засобів боротьби з ними.

Численні шахтні дослідження, а також результати ряду чисельних експериментів, спрямованих на визначення впливу форми виробки на напружено-деформований стан приконтурного масиву, показують, що при різних перетинах виробок, конфігурація ЗНД відрізняється від симетричної форми і є більш витягнутою у бік підшви.

Радіометричне зондування товщі порід у підшві виробок [8], показало, що процес їх зрушення при здиманні захопив у кінцевій стадії шари на глибині більш 4 м. Лабораторні дослідження [8, 12 та ін.] показали, що в процес здимання порід підшви включаються шари порід, глибина розташування яких у 2–3 рази перевищує радіус зони порушених порід у покрівлі виробок. Крім того, в ході пружно-пластичної стадії деформування масиву відкритий контур ґрунту згинається в напрямку центра виробки, ще більше, послабляючи з погляду механічної стійкості, і створюючи початкове вигинання, за напрямком якого надалі і реалізується здимання. При цьому в задачах для гідростатично стиснутого масиву, як однорідного, так і шаруватого, у всіх випадках максимальні зміщення підшви реалізовувалися в центрі виробки.

Порівняння геомеханічних ситуацій, що моделювалися, з різними розмірами і конфігураціями зони розпушення на першому етапі рішення (на момент здимання) і на другому етапі (при досягнутій величині заданого закритичного підняття) [12], показало, що з ростом величини закритичних зміщень основний приріст розмірів зони розпушення спостерігається в підшві і, до деякої міри, боках.

Відзначені особливості деформування моделей добре узгоджуються з фізичною моделлю здимання порід підшви, запропонованою А.Н. Шашенко [6].

**Обґрунтування способу підвищення стійкості гірничої виробки в породах підшви, що здимаються.** Механізм роботи анкерного кріплення складається в попередженні розвитку деформацій порід приконтурної зони виробки шляхом збільшення сил зчеплення на міжшарових контактах порід і блокуванням (обмеженням) деформацій зсуву масиву. Анкерне кріплення повинне бути розраховане на створення зусиль для запобігання подальшого розміщення і розпушення приконтурних порід у межах ЗНД, збереження рівноважного стану масиву після створення демпферної зони і попередження здимання порід підшви. Обґрунтування параметрів анкерного кріплення зводиться до визначення несучої здатності анкерів, довжини, щільності їх установки і схеми розташування. Як методи дослідження варто застосовувати комплексний підхід з використанням аналітичних, лабораторних і чисельних досліджень.

Параметри анкерування (щільність анкерування, довжина анкера, їх несуче зусилля) в остаточному підсумку визначаються параметрами ЗНД у конкретних гірничо-геологічних умовах експлуатації виробки (зоною підвищеної тріщинуватості, що утворюється навколо виробки) з урахуванням міцності вміщуючих порід, і коефіцієнта бічного розпору. При цьому варто орієнтуватися на сучасні конструкції анкерів високої несучої здатності, що закріплюються полімерними в'язучими речовинами по всій довжині штанг, встановлені по всьому контуру виробки, включаючи підшву (рис. 3).

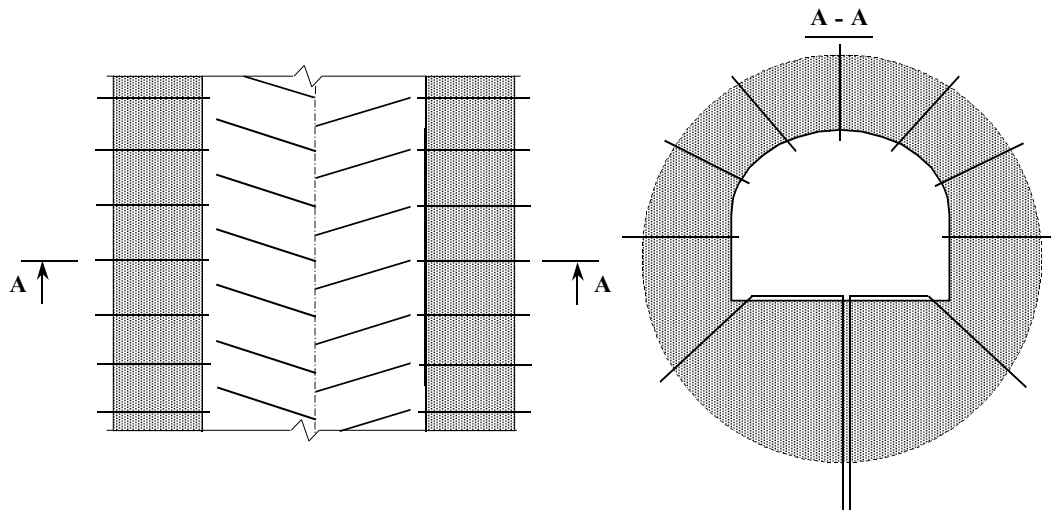


Рис. 3. Схема встановлення анкерів в протяжній виробці

Щільність анкерування підшови повинна перевищувати щільність анкерування покрівлі і бокових порід. Як додаткове підсилення кріплення підшови можна рекомендувати використання міжрядних огорожень типу підхватів або тросів для «включення» ефекту заклинювання, приймаючи також до уваги небажане використання громіздких елементів у підшві виробки.

З урахуванням цих вимог, анкера, встановлені в підшві виробки, виготовляються з троса і є здвоєними, один кінець яких закріплюється в підшві збоку, а другий кінець – у центрі виробки і має довжину, в 1,5–2 рази перевищуючу розрахункову довжину всього комплексу анкерів. Крім того, здвоєні тросові анкери по підшві виробки, розташовані з правого боку, зміщені на півкроку установки від анкерів, розташованих у лівій частині виробки. При такій схемі досягається дворазове збільшення щільності анкерів у центральній частині виробки. Посилене зміцнення в підшві досягається також ефектом «зшивання» масиву порід ґрунту, включенням механізму заклинювання при їх деформуванні, а також глибинним зміцненням масиву. Установка такого посиленого кріплення в підшві на стадії докритичних деформацій в умовах можливого здимання порід не є зайвою. Лабораторні дослідження міцності зразків гірських порід [13], показали, що навіть при невеликих пружних деформаціях, у зразках формуються системи мікротріщин, що переходять на стадії граничного і позамежного деформування в розвинути тріщинуватість. А відповідно до результатів відзначених вище досліджень, довжина центральних анкерів у ґрунті виробки повинна перевищувати довжину анкерів, встановлюваних у покрівлі і боках виробки. Спосіб підвищення стійкості виробок у породах, схильних до здимання порід підшови, відповідно до геомеханіки розвитку деформаційних процесів навколо виробки реалізується в такий спосіб.

Можливість здимання визначається відповідно до умови (1). Після проведення виробки встановлюється рамне металеве кріплення, що повинне забезпечувати рівномірне щільне прилягання елементів до породного контуру з мінімальними зазорами між кріпленням і боковими породами. В міру формування ЗНД і реалізацією зсувів кріплення повинне забезпечувати податливість і високу працездатність. Після кріплення чергової заходки, фіксуються розміри виробки в напрямку «покрівля–підшва» і надалі здійснюється постійний маркшейдерський контроль за цими показниками. Після реалізації 80 % зміщень покрівлі від величини, визначеної за формулою (3) або (4) між рамами кріплення встановлюється комплект анкерів, відповідно до паспорта кріплення. Після встановлення анкерного кріплення, контроль за зміщеннями контуру виробки продовжується для можливого коректування паспорта кріплення виробки.

#### Висновки:

1. Аналіз характеру деформування приконтурного масиву навколо виробки показав, що найбільш зручним й ефективним для забезпечення тривалої стійкості виробки є другий етап її експлуатації – завершення формування зони непружних деформацій при критичних зміщеннях контуру виробки і стабілізації геомеханічних процесів.

2. Одним з можливих способів стабілізації деформаційних процесів у приконтурному масиві може бути анкерне кріплення, встановлене по периметру виробки для попередження подальших зміщень контуру.

3. Аналіз досвіду застосування анкерного кріплення для боротьби зі здиманням порід підшови показав, що у визначених умовах і відповідних параметрах анкерне кріплення є ефективним способом підвищення стійкості виробки в породах, що здимаються.

4. Для ефективної роботи анкерне кріплення повинне бути встановлене по периметру виробки з

посиленим кріпленням з боку підшови. Технологія зведення кріплення у виробці повинна враховувати максимальну величину зміщень контуру виробки – критерій здимання, для попередження некерованого процесу здимання порід підшови.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Заславский Ю.З.* Вопросы крепления капитальных горных выработок глубоких шахт в Донбассе. – М.: ЦНИИТЭИ Угля, 1963. – 76 с.
2. *Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О.* Охрана и ремонт выработок. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
3. *Глушко В.Т., Цай Т.Н., Ваганов И.И.* Охрана выработок глубоких шахт. – М.: Недра, 1975. – 200 с.
4. *Черняк И.Л.* Предотвращение пучения почвы горных выработок. – М.: Недра, 1978. – 237 с.
5. *Либерман Ю.М.* Давление на крепь капитальных горных выработок. – М.: Наука, 1969. – 118 с.
6. *Шашенко А.Н.* Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Дисс...д.т.н.: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
7. *Солодянкин О.В.* Оцінка стійкості порід підшови гірничих виробок // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2006. – № 3 (38). – С. 189–196.
8. *Максимов А.П.* Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 144 с.
9. *Пяткин А.М.* Опыт применения анкерной крепи для борьбы с пучением // Применение новых видов крепей в подготовительных выработках. – Углетехиздат, 1958. – С. 35–43.
10. *Северьянов А.Н., Хайкин А.И., Чураков В.Н.* Исследование влияния полимерной анкерной крепи на пучение почвы в подготовительных выработках // Уголь. – 1988. – № 10. – С. 25–26.
11. *Ольденготт М.* Поднятие почвы в выработках каменноугольных шахт и борьба с ним // Глюкауф. – 1981. – № 12. – С. 3–11.
12. *Гапеев С.Н.* Исследование процесса пучения почвы протяженной выработки лабораторными и численными методами // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – № 17. – Т. 1. – С. 350–355.
13. *Протосеня А.Г., Трушко В.Л., Карпенко В.В.* Расслоение приконтурного массива пород вокруг выработок при разработке удароопасных месторождений // ФТПРПИ. – 2004. – № 2. – С. 3–12.

СОЛОДЯНКІН Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри будівництва і геомеханіки Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- проблеми механіки гірських порід;
- технологія будівництва підземних споруд;
- проблеми забезпечення тривалої стійкості гірничих виробок.

Тел. (056) 373-07-69.

E-mail: [SolodyankinO@nmu.org.ua](mailto:SolodyankinO@nmu.org.ua).

Подано 25.03.2007

УДК 622.831.3

**Обґрунтування способу підвищення стійкості протяжних виробок у породах, що здимаються**  
**/О.В. Солодянкін**

На підставі закономірностей деформування приконтурного масиву навколо підготовчої виробки, біфуркаційної теорії здимання підшви і встановлених критеріїв здимання запропонований спосіб підвищення стійкості протяжних виробок у породах, що здимаються, з використанням анкерного кріплення.

УДК 622.831.3

**Обоснование способа повышения устойчивости протяженных выработок в пучащих породах**  
**/А.В. Солодянкин //Вісник ЖДТУ. – 2007. - № / Технічні науки. – С. : іл. – Библиогр.: 13 назв.**

На основании закономерностей деформирования приконтурного массива вокруг подготовительной выработки, бифуркационной теории пучения почвы и установленных критериев вспучивания предложен способ повышения устойчивости протяженных выработок в пучащих породах с использованием анкерной крепи.

УДК 622.831.3

**Substantiation of the way of increase of stability extended developments in floor heaving /A.V. Solodyankin //Вісник ЖДТУ. – 2007. - № / Технічні науки. – P. : ill. – Refs.: 13 titles.**

On the basis of laws of deformation of a massif around of extended development, the bifurcation of the theory of a floor heaving and the established criteria of an opportunity of a floor heaving the way of increase of stability of extended developments in floor heaving with use anchor bolting is offered.