

Л.Л. Бачурін
І.В. Іорданов
О.П. Когтєва
В.Ю. Довгаль
Г.Е. Бойченко
Я.П. Бачуріна
І.І. Булега
О.І. Єфремов
М.О. Григорєць

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ БОКОВИХ ПОРІД У ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ З УРАХУВАННЯМ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОХОРОННИХ СПОРУД

Мета роботи. Оцінити стійкість бокових порід у вуглепородному масиві, що вміщує виробки, з урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд.

Методи. Для досягнення поставленої мети були виконані лабораторні дослідження деформаційних характеристик охоронних споруд, розташованих між модельованими покрівлею і підшвою вугільного пласта, які піддавалися одноосьовому стисканню.

Результати. Доведено, що деформаційні характеристики охоронних споруд впливають на стійкість бокових порід у вуглепородному масиві, що вміщує виробки. Характер деформації охоронних споруд під дією зовнішньої сили визначається їх жорсткістю. За інших рівних умов, коли породи покрівлі і підшви мають постійну згинальну жорсткість, їх стійкість залежить від жорсткості підтримувальних конструкцій та напрямку дії навантаження, яке прикладається в тангенціальному (дерев'яні костри, накатні костри) або радіальному (кущі зі стояків) напрямку. Для модельованих охоронних споруд зі збільшенням стискаючого навантаження фіксується одночасне лінійне зростання їх жорсткості і модуля деформації. Причому, для дерев'яних піддатливих опор, коли навантаження прикладається поперек волокон, відбувається ущільнення затиснутих стояків дерев'яних конструкцій, внаслідок чого конвергенція бокових порід обмежується. Для жорстких конструкцій у вигляді кущів з дерев'яних стояків такої закономірності не простежується. Після втрати стійкості охоронної конструкції модуль деформації зменшується, що супроводжується збільшенням конвергенції бокових порід до повного руйнування конструкції. Рекомендується відмовитися від жорстких і одночасно крихких охоронних споруд, призначених для підтримання бокових порід.

Новизна. Стійкість покрівлі у вуглепородному масиві, що вміщує виробки, оцінюється за максимальної відносної деформації підтримувальних конструкцій в результаті одновісного стискання за допомогою коефіцієнта, що характеризує співвідношення жорсткості працездатної охоронної споруди і згинальної жорсткості бокових порід.

Практична значимість. Для забезпечення стійкості бокових порід у вуглепородному масиві і експлуатаційного стану виробок, що примикають до очисного забою на виймальній ділянці вугільної шахти, необхідно орієнтуватися на застосування піддатливих споруд.

Ключові слова: бічні породи, стійкість, гірничі виробки, охоронна споруда, жорсткість, модуль деформації.

Вступ.

Досвід роботи глибоких вугільних шахт вказує на те, що ефективність відпрацювання вугільних пластів і підвищення безпеки праці гірників на виймальних ділянках залежать від стійкості бокових порід у вуглепородному масиві і стану експлуатованих гірничих виробок. Охорона гірничих виробок на вугільних шахтах становить комплекс гірничотехнічних і технологічних заходів, покликаних забезпечити стан виробок відповідно до вимог нормативних документів.

Зі збільшенням глибини гірничих робіт гірничо-геологічні умови погіршуються, а негативні прояви гірничого тиску, що справляють негативний вплив на стан бокових порід і гірничих виробок, інтенсифікуються. Кріплення виробок деформується, ускладнюється робота підземного транспорту і провітрювання на виймальних ділянках.

Стан підтримуваних гірничих виробок визначає не тільки обсяги ремонтних робіт на аварійних ділянках, а й впливає на безпеку умов праці гірників. Тому забезпечення стійкості виробок у

вуглепородному масиві при веденні гірничих робіт є одним з основних напрямків підвищення техніко-економічної ефективності вуглевидобутку і зниження рівня травматизму. Для вирішення цього важливого завдання необхідна оцінка стійкості бокових порід у вуглепородному масиві з урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд, які використовуються для охорони виробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Безпека і ефективність роботи виймальних дільниць на вугільній шахті здебільшого визначається станом гірничих виробок, коли забезпечується належна стійкість бокових порід у вуглепородному масиві.

Відомо [1-4], що з переходом гірничих робіт на глибокі горизонти, у вуглепородному масиві, що вміщує виробки, підвищується інтенсивність проявів гірничого тиску і спостерігається погіршення стійкості бокових порід, що зумовлює необхідність ефективного підтримання підготовчих виробок. Для забезпечення стійкості дільничних підготовчих виробок, що примикають до очисного забою на виймальній дільниці, в роботах [5, 6] пропонується використовувати для охорони штучні споруди з дерева у вигляді накатних кострів зі шпал. Це дозволить забезпечити плавний прогин бокових порід у виробленому просторі і зберегти виробки в експлуатаційному стані.

Ряд дослідників пропонують використовувати для охорони виробок цілики вугілля обмежених розмірів [7]. Слід зазначити, що використання ціликів вугілля для охорони виробок не завжди є раціональним з точки зору стійкості бокових порід і виробок. Більш того, наявність ціликів у вуглепородному масиві сприяє концентрації напружень в бокових породах і збільшенню зони їх шкідливого впливу [8].

Аналіз застосовуваних способів охорони дільничних підготовчих виробок показав, що охоронні споруди, які використовувались для підтримання бокових порід, будучи ефективними для конкретних гірничо-геологічних умов, втрачають свою ефективність при їх зміні. Це є причиною багатьох аварій і нещасних

випадків, що сталися в результаті обвалів і обвалення бокових порід [3, 9, 10]. Найбільш часто повторюваними причинами аварій, пов'язаних з завалами гірничих виробок від руйнувань бокових порід і обвалення покрівлі, є порушення паспортів кріплення і їх невідповідність гірничо-геологічними умовами розробки [10].

Вивчення особливостей руйнувань бокових порід, як різновиду небезпечних проявів гірничого тиску, їх вплив на стан гірничих виробок і, на основі цього, розробка ефективних заходів, спрямованих на підвищення стійкості покрівлі, сприятиме створенню умов безпечного ведення гірничих робіт на виймальних дільницях вугільної шахти.

Як параметри стійкості гірничих виробок часто використовують деформаційні показники бокових порід, які визначаються при статичному навантаженні. Для оцінки стійкості бокових порід в цьому дослідженні пропонується враховувати деформаційні характеристики охоронних споруд, призначених в першу чергу для підтримання покрівлі, як основного вантажотримального елемента.

Постановка завдання досліджень.

Оцінити умови стійкості бокових порід у вуглепородному масиві з урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд, які використовуються для охорони виробок на виймальній дільниці глибокої вугільної шахти.

Матеріали і методи досліджень.

Для оцінки стійкості бокових порід у вуглепородному масиві, що вміщує виробки, були проведені експериментальні дослідження, при виконанні яких моделювалися охоронні споруди у вигляді дерев'яних кострів, накатних кострів зі шпал і кушів з дерев'яних стояків. Експериментальні зразки охоронних споруд були виконані з дерева в масштабі 1:25. Фізико-механічні характеристики деревини, використаної в моделях, представлені в табл. 1

Вологість зразків на момент проведення випробувань становила 8%. Всього було випробувано 28 зразків.

Дослідження проводили в лабораторії фізики гірських порід ДонНТУ. Для

стискання експериментальних зразків використовували прес ГП-50 (рис. 1). Експериментальні зразки розміщували між

модельованими шарами покрівлі і підосви та встановлювали між плитами преса.

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики дерева, з якого виготовлялися експериментальні зразки

Порода	Межа міцності на стиск $\sigma_{ск}$, МПа		Модуль пружності E , МПа	
	Уздовж волокон	Поперек волокон	Уздовж волокон	Поперек волокон
сосна	85	86	12600	570

Породи покрівлі і підосви моделювали у вигляді балки, виготовленої з цементно-піщаної суміші, відповідно до рекомендацій [11, 15]. Ширина балки $b = 0,04$ м, висота $h = 0,02$ м, довжина $l = 0,1$ м, густина $\rho = 2300$ кг/м³, модуль пружності $E = 11200$ МПа. Для спрощення балка, що моделює шар підосви, була ідентична балці, що моделює шар покрівлі.



Рис. 1. Фото експериментального обладнання (прес ГП-50) для визначення деформаційних характеристик охоронних споруд.

Модуль деформації E_d (Па), який відображає деформаційні властивості охоронних споруд, визначали виходячи із закону Гука [12—14]:

$$E_d = \frac{F \cdot h}{S \cdot \Delta h} \quad (1)$$

де F – навантаження, що прикладається до експериментального зразка, Н;

S – площа поперечного перерізу, м²;

$\lambda = \frac{\Delta h}{h}$ – відносна деформація зразка;

Δh – величина деформації зразка, м;

h – первісна висота зразка, м.

Жорсткість охоронних споруд C (Н/м) визначали як:

$$C = \frac{F}{\Delta h} \quad (2)$$

Для оцінки стійкості бокових порід при підтриманні з використанням модельованих охоронних споруд, нами використовувався коефіцієнт відносної жорсткості K , що дорівнює відношенню згинальної жорсткості балки безпосередньої покрівлі до жорсткості охоронної споруди, приведений до одиниці об'єму:

$$K = \frac{E \cdot I}{C \cdot L^3} \quad (3)$$

де $E \cdot I$ – згинальна жорсткість балки, що моделюється, Н·м²;

L – довжина балки, м.

Слід зазначити, що дерев'яні конструкції, які використовуються для підтримання бокових порід і охорони виробок у вуглепородному масиві, істотно впливають на стан підготовчих виробок, що примикають до очисного забою в межах виймальної ділянки; ступінь і характер конвергенції бокових порід визначається деформаційними характеристиками цих конструкцій.

Результати досліджень стійкості бокових порід з урахуванням деформаційних характеристик охоронних споруд.

Дерев'яний костер. Висота моделі $h = 0,04$ м, ширина моделі $b = 0,04$ м, площа поперечного перерізу $S = 0,0016$ м².

Навантаження прикладається поперек волокон.



Рис. 2. Фото експериментального зразка у вигляді моделі дерев'яного костра:
а) до стиснення; б) після стиснення.

За експериментальними даними, встановленими в ході випробувань, побудований графік зміни висоти зразка h (м) від величини стискувальної сили F (Н) (рис. 3).

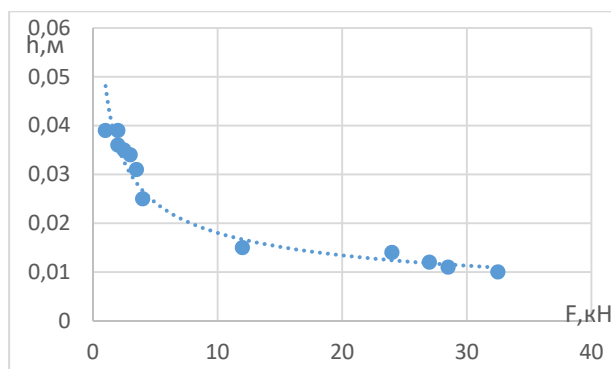


Рис. 3. Графік зміни висоти експериментального зразка h (м) від величини стискувальної сили F (кН) при випробуванні моделі дерев'яного костра.

Зі збільшенням стискувальної сили F з 0,57 до 32,5 кН висота експериментального зразка h зменшилася з 0,039 до 0,01 м (рис. 3). При цьому візуально спостерігалось збереження цілісності порід покрівлі (рис. 2б).

На рис. 4 представлений графік зміни модуля деформації E_d (МПа) моделі дерев'яного костра від відносної деформації λ при стисненні.

З графіка видно, що модуль деформації E_d зразка у міру стиснення

зменшується, а потім збільшується до певної величини (рис. 4). Було зафіксовано, що при $\lambda = 0,01$ величина модуля деформації дорівнює 21,1 МПа. При деформації зразка на 20% модуль деформації зменшується до 6,08 МПа. При подальшому стисненні дерев'яного костра до $\lambda = 0,72$ модуль деформації зростає до 25,7 МПа (рис. 4).

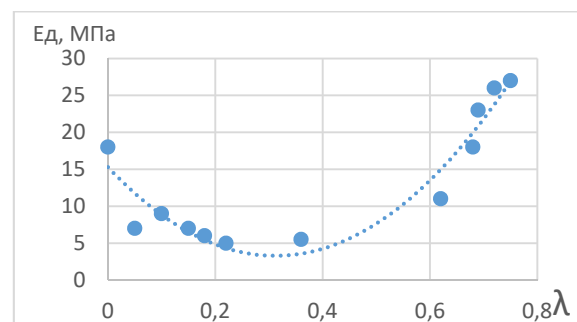


Рис. 4. Графік зміни модуля деформації E_d (МПа) моделі дерев'яного костра від відносної деформації λ при стисненні.

Накатний костер з дерев'яних шпал.
Висота моделі $h = 0,04$ м, ширина моделі $b = 0,04$ м, площа поперечного перерізу $S = 0,0016$ м². Навантаження прикладається поперек волокон.

На рис. 5 представлено фото експериментального зразка до стиснення (а) і після стиснення (б).



а)

б)

Рис. 5. Фото експериментального зразка у вигляді моделі накатного костра з дерев'яних шпал: а) до стискання; б) після стиснення.

На рис. 6 представлено зміну висоти зразка h (м) під дією стискувальної сили F (кН).

При збільшенні стискувальної сили F з 3,5 до 50 кН, висота зразка h змінюється з 0,038 до 0,015 м при відносній деформації моделі $\lambda = 0,64$. У процесі стискання

цілісність бокових порід зберігається (рис. 5б).

На рис. 7 представлений графік зміни модуля деформації E_d (МПа) моделі накатного костра із шпал від відносної деформації λ .

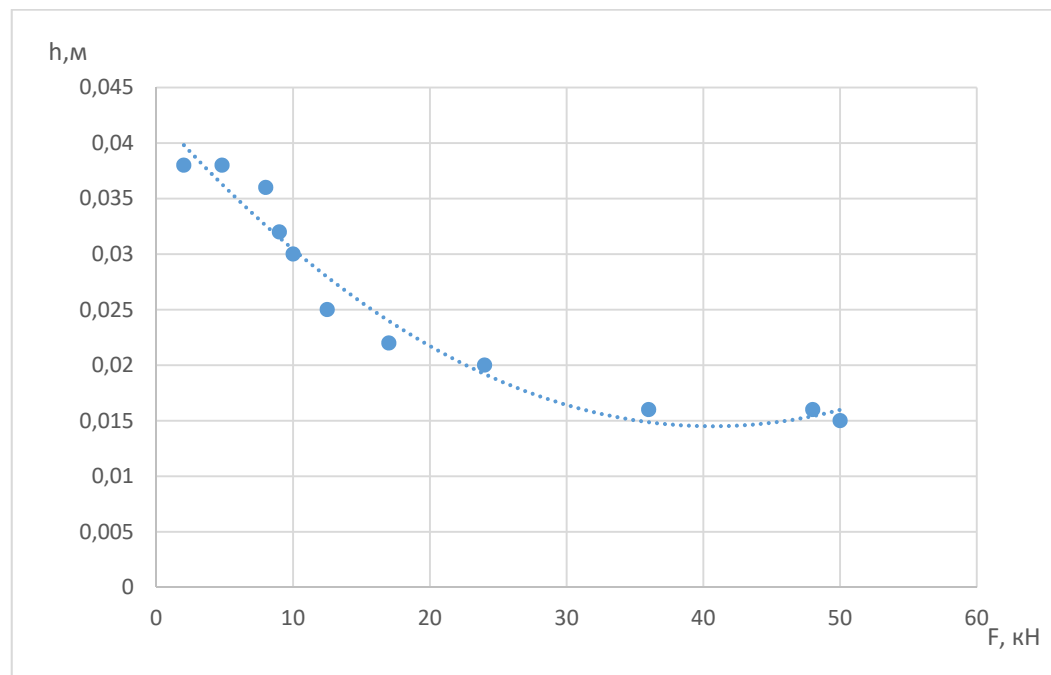


Рис. 6. Графік зміни висоти експериментального зразка h (м) від величини стискувальної сили F (кН) при випробуванні моделі накатного костра з дерев'яних шпал.

Зафіксовано зменшення модуля деформації при стисненні зразка на 30% до 20,4 МПа, а потім збільшення до 49,9 МПа при стисненні на 64% (рис. 7).

Куц з дерев'яних стояків. Висота моделі $h = 0,04$ м, ширина моделі $b = 0,04$ м. Площа поперечного перерізу $S = 0,0016$ м². Встановлюється перпендикулярно

нашаруванню порід. Навантаження прикладається уздовж волокон.

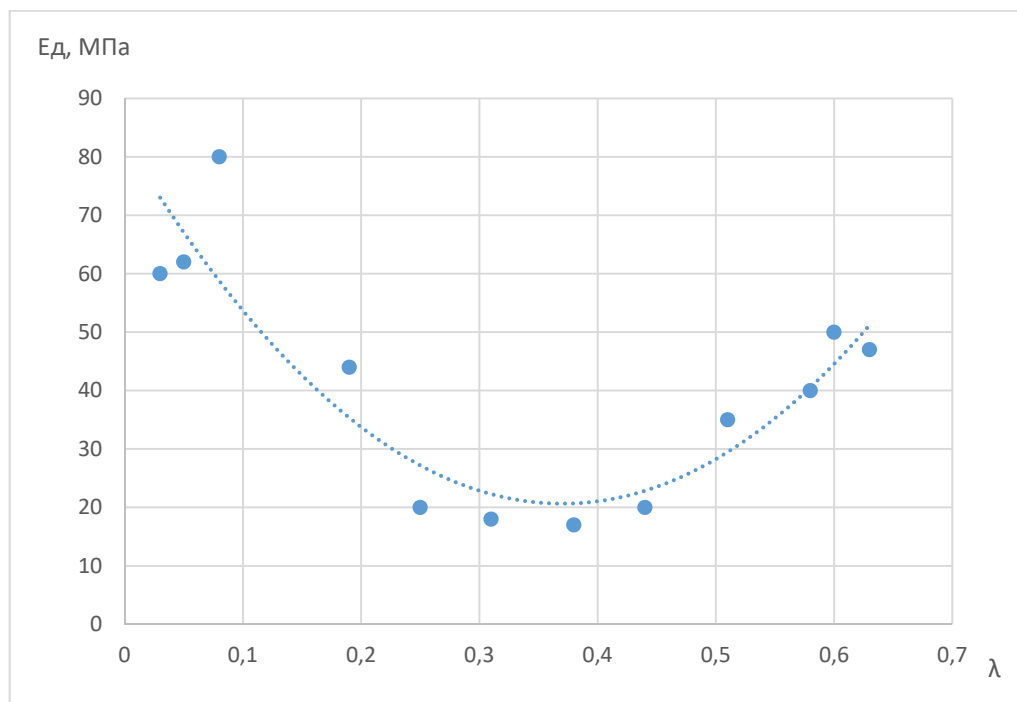


Рис. 7. Графік зміни модуля деформації E_d (МПа) моделі накатного костра з дерев'яних шпал від відносної деформації λ при стисканні.

На рис. 8 представлено фото експериментального зразка у вигляді моделі

куща з дерев'яних стояків до стискання зразка (а) і після стиснення (б).



а)

б)

Рис. 8. Фото експериментального зразка у вигляді моделі з дерев'яних стояків: а) до стиснення; б) після стиснення.

На рис. 9 представлений графік зміни висоти зразка h (м) від величини стискувальної сили F (кН), що прикладається уздовж волокон до моделі.

З графіка видно, що зі зростанням стискувальної сили F з 0,5 до 21,7 кН зразок деформувався лише на 10% (висота моделі h зменшилася з 0,039 до 0,035 м) (рис. 9). При

подальшому збільшенні навантаження зразок втратив стійкість (рис. 8б, точка К).

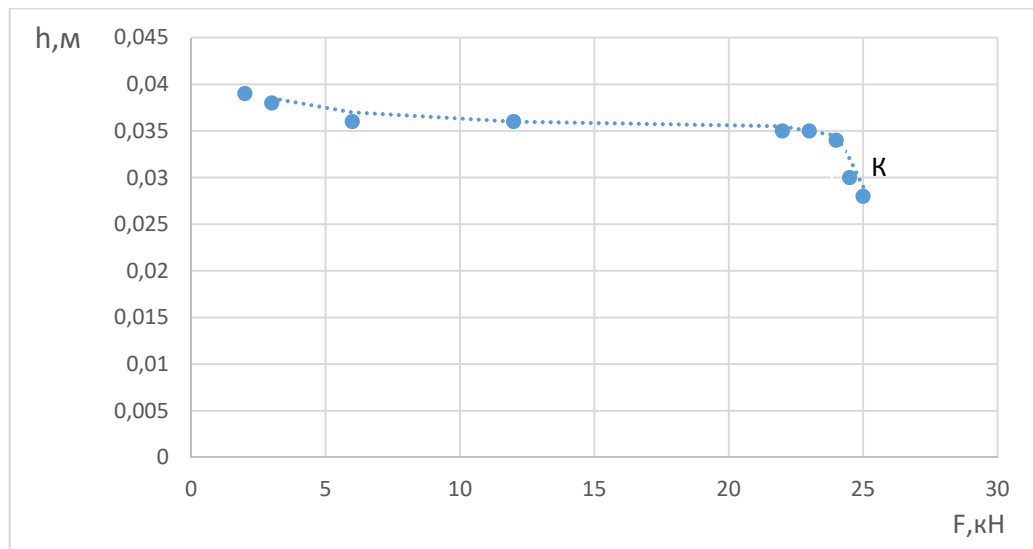


Рис. 9. Графік зміни висоти експериментального зразка h (м) від величини стискувальної сили F (кН) при випробуванні моделі куща з дерев'яних стояків: К – точка втрати стійкості охоронної споруди.

На рис. 10 представлений графік зміни модуля деформації E_d (МПа) моделі охоронної споруди у вигляді куща з дерев'яних стояків від відносної деформації λ при стисканні.

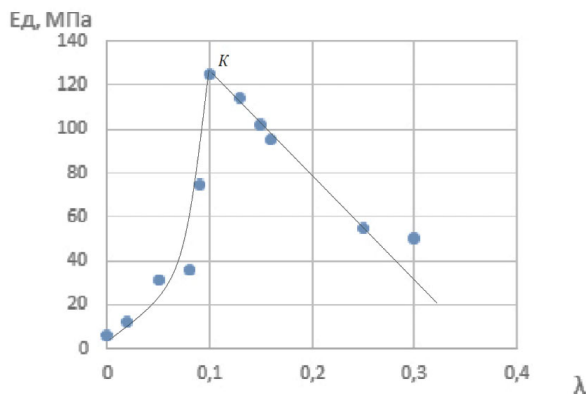


Рис. 10. Графік зміни модуля деформації E_d (МПа) моделі охоронної споруди у вигляді куща з дерев'яних стояків від відносної деформації λ при стисканні: К – точка втрати стійкості охоронної споруди.

З графіка видно, що при відносній деформації λ до 0,1 збільшення модуля деформації E_d відбувається за зростаючою параболічною залежністю до точки К, сягаючи значення 125 МПа. Потім, після втрати стійкості, модуль деформації моделі лінійно зменшується з ростом відносної деформації λ при стисканні (рис. 10).

На рис. 11 наведено графік зміни коефіцієнта K від відносної деформації

експериментальних зразків при одноосьовому стисканні.

З рис. 11 видно, що зі збільшенням відносної деформації λ зразків спостерігається експоненціальне зростання величини коефіцієнта K : для експериментальних зразків у вигляді кущів зі стояків при $\lambda = 0,3$ $K = 0,05$, для накатних кострів при $\lambda = 0,64$ $K = 0,15$ і для дерев'яних кострів при $\lambda = 0,72$ $K = 0,28$.

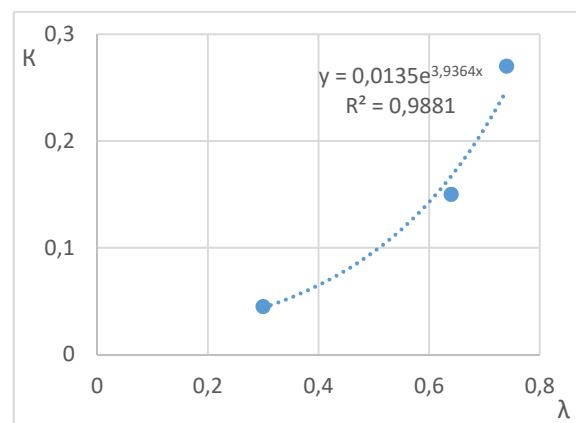


Рис. 11. Графік зміни коефіцієнта K від відносної деформації експериментальних зразків λ при одноосьовому стисканні.

Обговорення результатів досліджень.

В результаті виконаних досліджень встановлені деформаційні характеристики охоронних споруд і виконана оцінка їх

впливу на стан покрівлі, як основного вантажотримального елемента вуглепородного масиву, що вміщує виробки. При проведенні експериментів в якості основних показників використовували модуль деформації E_d (1) (рис. 4, 7, 10, 126) і коефіцієнт відносної жорсткості K (3) (рис. 11), значення яких встановлювали після одноосового стискання моделей (рис. 2, 5, 8) на пресі ГП-50 (рис. 1).

При поєднанні наявних аналітичних рішень з моделюванням визначені деформаційні характеристики використовуються для обґрунтованого прогнозу стійкості бокових порід у вуглепородному масиві при різних способах охорони гірничих виробок.

Встановлено, що характер зміни модуля деформації E_d експериментальних зразків в процесі деформування під дією зовнішнього навантаження (рис. 4, 7, 10) за інших рівних умов, коли фізико-механічні властивості покрівлі і підшви не змінюються, характеризує режим роботи (податливий, жорсткий) охоронної споруди і особливості її взаємодії з боковими породами.

Для піддатливих охоронних споруд у вигляді дерев'яних кострів або накатних кострів зі шпал на початковому етапі деформування (10—20%) жорсткість підтримувальної конструкції та її модуль деформації зменшуються, а потім, у міру подальшого стискання, зростає (рис. 2, 5, 4, 7).

Для жорстких охоронних споруд у вигляді кушів з дерев'яних стояків, коли останні встановлюються перпендикулярно нашаруванню порід, а стискаюче навантаження прикладається уздовж волокон, при дії стискувальної сили F спостерігається збільшення модуля деформації E_d до моменту втрати стійкості охоронної підтримувальної споруди (точка K , рис. 8, 10).

Первісне зменшення модуля деформації не жорстких охоронних споруд відбувається за рахунок їх стиснення на 5-10%. При подальшому стисканні до 50-60%, відзначається зростання опору стисканню, модуль деформації охоронної споруди збільшується, що свідчить про ущільнення затиснутих стояків. У цьому випадку забезпечується обмеження переміщень покрівлі і підшви (рис. 2, 4).

Для конструкцій у вигляді кушів зі стояків після збільшення модуля деформації, за межами точки K відбувається втрата стійкості охоронної споруди і руйнування порід покрівлі (рис. 8, 10).

Критерієм для оцінки стисливості охоронної споруди можна вважати її жорсткість (2), яка залежить від її (споруди) розмірів і деформаційних властивостей, тому її можна розглядати як певну узагальнену характеристику підтримувальних конструкцій, величина якої встановлюється при максимальній відносній деформації працездатної охоронної споруди і входить у вираз (3).

При проведенні досліджень після повного стискання експериментальних зразків, коли їх відносна деформація λ досягла максимальних значень, були встановлені значення коефіцієнта відносної жорсткості K (3) (рис. 11). За результатами експерименту можна зробити наступний висновок: вірогідність руйнування бокових порід зростає зі зменшенням коефіцієнта K . Збереження цілісності бокових порід, підтримуваних охоронною спорудою можливе при величині K не менше 0,15, що відповідає параметрам піддатливих конструкцій.

Таким чином для того, щоб забезпечити стійкість підтримуваних бокових порід і гірничих виробок у вуглепородному масиві, необхідно орієнтуватися на застосування піддатливих охоронних споруд, які дозволяють обмежити величину конвергенції бокових порід при обмеженому рівні концентрації напружень в зоні контакту з боковими породами.

Висновок.

Одним з важливих аспектів при підтриманні відкатних штреків на виймальних ділянках глибокої вугільної шахти є моніторинг конвергенції бокових порід на контурі виробки з метою оцінки стійкості порід покрівлі, як основного вантажотримального елемента вуглепородного масиву. При цьому необхідно враховувати як деформаційні характеристики охоронних споруд так і відносну жорсткість конструкцій в порівнянні з характеристиками бокових порід. Правильний вибір таких конструкцій дозволить поліпшити геомеханічну

обстановку у вуглепородному масиві, що вміщує виробки і знизити рівень травматизму гірників від обвалів і обвалення на виймальній ділянці, за рахунок обмеження зсувів бокових порід на контурі підтримуваних виробок і запобігання неконтрольованому руйнуванню.

Список літератури

1. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П., Сдвижкова Е. А. Геомеханика. Киев: Новый друк, 2016. 528 с.
2. Liashok, Ya., Iordanov I., Chepiga D., Podkopaiev S. Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Vol. 12, Issue 4, P. 9-19.
3. Николин В. И., Подкопаев С. В., Агафонов А. В., Малеев Н. В. Снижение травматизма от проявлений горного давления. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 332 с.
4. Викторов С. Д., Гончаров С. А., Иофис М. А., Закалинский В. М. Механика сдвижения и разрушения горных пород. Москва: РАН, 2019. 360 с.
5. Подкопаев С. В., Конопелько Е. И., Чепига Д. А., Иорданов И. В., Смоланов И. Н. Исследование проявлений горного давления в подготовительных выработках с учетом жесткости охранных сооружений. *Вісник Донецького гірничого інституту*, 2018. 1(42). С. 84-95.
6. Кошелев К. В., Петренко Ю. А., Новиков А. О. Охрана и ремонт горных выработок. Москва: Недра, 1990. 256 с.
7. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах. В. Б. Артемьев и др. Санкт-Петербург: Наука, 2009. 229 с.
8. Канин В. А., Ходырев Е. Д., Галемский П. В. Опережающая разработка защитных пластов для предотвращения выбросов песчаников при проведении подготовительных выработок. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2012. №11. с. 239-250.
9. Левкин Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины: монография. Донецк: Донбасс, 2002. 393 с.
10. Радченко В. В., Медведев Э. Н., Кузьменко Н. С. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах. Киев: 2010. 372 с.
11. Борщ-Компониет В. И. Практическая механика горных пород. Москва: Горная книга, 2013. 322 с.
12. Тимошенко С. П., Дж. Гудьер. Теория упругости. Москва: Наука, 1979. 560 с.
13. Strauh, D. *Classical Mechanics: An introduction*. Springer, 2009. 422 p.
14. Тимошенко С. П., Дж. Гере. Механика материалов. Санкт-Петербург: Лань, 2002. 672 с.

15. ДСТУ Б В.2.6-112:2010 (ГОСТ 19010-82, MOD) Блоки стінові бетонні і залізобетонні для будівель [чинний з 2012-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 36 с.

Reference

1. Shashenko, A.N., Pustovoitenko, V.P., Sdvizhykova, E.A.. (2016). *Geomekhanika*. Kiev: Novyi druk. (in Russian).
2. Liashok, Ya., Iordanov I., Chepiga D., Podkopaiev S. (2018) Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*. 12(4), 9-19.
3. Nikolin, V.I., Podkopaiev, S.V., Agafonov, A.V., & Maleev N.V. *Snizhenye travmatizma ot proiavlenii hornoho davleniia*. Donetsk: Nord-Press. (in Russian).
4. Viktorov, S.D., Honcharov, S.A., Iofis, M.A., & Zakalinsky, V.M. (2019). *Mekhanika sdvizheniia i razrusheniia hornykh porod*. Moskva: RAN (in Russian).
5. Podkopaiev, S.V., Konopelko, Ye. I., Chepiga, D.A., Iordanov, I.V., Smolanov, I.N. (2018). Issledovaniie proiavlenii hornoho davleniia v podgotovitelnykh vyrabotkakh s uchetom zhestkosti okhrannykh sooruzhenii. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*. 1(42), 84-95 (in Russian).
6. Koshelev, K.V., Petrenko, Yu.A., & Novikov, A.O. (1990). *Okhrana i remont hornykh vyrabotok*. Moskva: Nedra. (in Russian).
7. Artemev V.B., Korshunov H.I., & Lohinov A.K. (2009). *Okhrana podgotovitelnykh vyrabotok tselikami na uholnykh shakhtakh*. Sankt-Peterburg: Nauka. (in Russian).
8. Kanin, V.A., Khodyrev, E. D., Halemki P. V. (2012). *Operezhaushchaia razrabotka zashchitnykh plastov dlia predotvrashchenia vybrosov peschanikov pri provedenii podgotovitelnykh vyrabotok*. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 11, 239–250.(in Russian).
9. Levkin, N.B. (2002). *Predotvrashchenie avarii i travmatizma v uholnykh shakhtakh Ukrainy. Monografiia*. Donetsk: Donbass. (in Russian).
10. Radchenko, V.V., Medvedev, E.N., & Kuzmenko, N.S. (2010). *Predotvrashchenie travmatizm ot obvalov i obrushenii na uholnykh shakhtakh*. Kyiv. (in Russian).
11. Borshch-Komponiets, V.I. (2013). *Prakticheskai mekhanika gornukh porod*. Moskva: Gornaia kniga. (in Russian)
12. Timoshchenko, S.P. (1979) *Teoriia uprugosti*. Moskva: Nauka. (in Russian).
13. Strauh, D. (2009). *Classical Mechanics: An introduction*. Springer.
14. Timoshchenko, S.P., Gere, Dzh. (2012). *Mekhanika materialov*. Sankt-Peterburg: Lan. (in Russian).
15. DSTU B V.2.6-112:2010 (HOST 1901D-82, MOD) (2011). *Bloky stinovi betonni i*

zalizobetonni dlia budivel [chynnyi z 2012-01-01]
Vyd. Of its. Kyiv: Minenerhobud Ukrainy. (in

Ukrainian).

Надійшла до редакції 27.05.2021

Рецензент д-р. техн. наук, проф. В.І. Альохін

Бачурін Леонід Леонідович - канд. техн. наук, доцент кафедри управління гірничим виробництвом ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова 2; orcid.org/0000-0003-2513-7284.

E-mail: leonid.bachurin@donntu.edu.ua

Іорданов Ігор В'ячеславович - канд. техн. наук, голова ради директорів ТОВ «ВК Елтеко»; 85103, м. Костянтинівка, вул. Олексі Тихого, 3.

E-mail: gendir@eme.kiev.ua

Котєва Ольга Павлівна - аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова 2; orcid.org/0000-0001-7282-8243.

E-mail: olha.kohtieva@donntu.edu.ua

Довгаль Віталій Юрійович - член дирекції (директор) ПАТ «Центренерго»; 08711, Київська обл., Обухівський район, смт Козин, вул. Рудиківська, 49; orcid.org/0000-0002-9782-2259.

E-mail: vudoo7007@gmail.com

Бойченко Геннадій Едуардович - директор ТОВ «Шахта «Свято-Покровська №3», 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 1а; orcid.org/0000-0002-9101-0831.

E-mail: ge.boychenko@gmail.com

Бачуріна Ярослава Павлівна - ст. викладач кафедри управління гірничим виробництвом ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова 2; orcid.org/0000-0001-6964-040X.

E-mail: yaroslava.bachurina@donntu.edu.ua

Булега Ігор Іванович - інженер, ТОВ «ВК ЕЛТЕКО», 85103, м. Костянтинівка, вул. Олексі Тихого, буд. 3; orcid.org/0000-0003-1204-3668.

E-mail: bulehahor@ukr.net

Єфремов Олег Ігорович – аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова 2;

E-mail: 2207250@gmail.com

Григорєв Максим Олегович аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова 2; orcid.org/0000-0003-1646-5294;

E-mail: maksym.hryhorets@donntu.edu.ua.

ESTIMATION OF STABILITY OF ROADWAYS SURROUNDING ROCKS IN A COAL-ROCK STRATUM CONSIDERING A DEFORMATION CHARACTERISTICS OF SECONDARY SUPPORT STRUCTURES

Purpose. Evaluate the stability of the rocks surrounding the roadways in a coal-rock stratum, taking into account the deformation characteristics of supporting structures.

Methodology. To achieve this goal laboratory study of the deformation characteristics of supporting structures located between the simulated roof and floor of the coal seam under uniaxial compression was performed.

Results. This study demonstrates that the deformation characteristics of secondary support structures affect the stability of roadway surrounding rocks in a coal-rock stratum. The nature of the deformation of supporting structures under the action of external forces is specified by their stiffness. All other things being equal, when the roof and floor rocks have a constant flexural rigidity, their stability depends on the stiffness of the supporting structures and the direction of the load applied in the tangential (wooden crib supports: 4-point chock, sandwich chock) or radial (vertical timber sets) direction. For the simulated supporting structures with an increase in the compressive load was recorded a simultaneous linear increase in their stiffness and deformation modulus. Moreover, for wooden yielding crib supports, when the load is applying across the wood fibres, the compressed chocks of wooden cribs are compacted, because of which the roof-to-floor convergence is limited. There is no such pattern for rigid structures in the form of vertical timber sets. After the loss of stability of the supporting structure, the deformation modulus decreases, which is accompanied by an increase in the roof-to-floor convergence to the destruction of the construction. It is recommended to refuse to use rigid and fragile secondary support structures.

Novelty. The roadways roof stability in the coal-rock stratum is estimated by the maximum relative deformation of the secondary support structures under uniaxial compression using a coefficient characterizing the ratio of the stiffness of the working supporting structure to flexural rigidity of the roof and floor strata.

Practical significance. It is necessary to focus on the use of yielding supporting structures to ensure the stability of the immediate roof and floor of mine workings in the coal-rock stratum and the operational condition of the gateroads adjacent to the working face at the extraction site of the coal mine.

Keywords: roof and floor strata, gateroads stability, secondary support, stiffness, flexural rigidity, deformation modulus.

Bachurin Leonid - Associate Professor of the Department of Mining Managment, Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Square, 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: leonid.bachurin@donntu.edu.ua

Iordanov Ihor - Chairman of the Board LLC "MC ELTEKO", Oleksy Tykhoho str. 3, 85103 Kostiantynivka, Ukraine.

E-mail: gendir@eme.kiev.ua

Kohtieva Olha - PhD Student of the Department of Mining of Mineral Deposits, Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Square, 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: olha.kohtieva@donntu.edu.ua

Dovgal Vitaliy - Member of the Board of Directors, PJSC "Centrenergo", 49 Rudykivska Str., urban-type settlement Kozyn, Obukhiv district, Kyiv region, 08711.

E-mail: vudoo7007@gmail.com.

Boichenko Hennadii - Director of "Svyato-Pokrovskaya №3 Mine" LLC, Shybankova Square, 1a, 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: ge.boychenko@gmail.com

Bachurina Yaroslava - Senior Lecturer of the Department of Mining Management, Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Ave., 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: yaroslava.bachurina@donntu.edu.ua

Buleha Ihor - Engineer, LLC "MC ELTEKO", Oleksy Tykhoho str. 3, 85103, Kostiantynivka, Ukraine. E-mail: bulehahor@ukr.net

Yefremov Oleh - PhD Student of the Department of Mineral Deposits, Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Square, 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: 2207250@gmail.com

Hryhorets Maksym - PhD Student of the Department of Mineral Deposits, Donetsk National Technical University, 2 Shybankova Square, 85300, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: maksym.hryhorets@donntu.edu.ua.