

телеконтролем витрати повітря на вихідному струмені, у місцях установок датчиків метану та оксиду вуглецю.

Список літератури

1. Голинько В.И., Лебедев Я.Я., Муха О.А. (2014). *Вентиляция шахт и рудников: учеб. пособие*. Днепропетровск: НГУ. 266 с.
2. Ушаков К.З. (2004). *Газовая динамика шахт: монография. 2-е изд., перераб. и доп.* М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та. 481 с.
3. Пашковский П.С. (2013). *Эндогенные пожары в угольных шахтах: монография*. Донецк: Ноулидж, Донец. отд-ние. 791 с.
4. Костенко В.К., Бокий А.Б., Шевченко Е.В. (2007). *Влияние очистных работ на процесс выделения метана из породного массива*. Вісті Донецького гірничого інституту. № 2. С. 36-43.
5. Костенко В.К., Завьялова Е.Л. (2005). *Особенности динамики газов в разрушенных горных породах*. 10-я сессия Междунар. бюро по горной теплофизике, (14-18февр. 2005 г.): сб. докладов. – Гливице. С. 43-50.
6. Костенко В.К., Шевченко Е.В. (2008). *Повышение производительности и безопасности очистных забоев управлением метановыделением из транспортируемой горной массы*. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Проблеми екології. № 1-2. С. 46-50.
7. Гамій Ю. (2019). Форум гірників – 2019: матеріали міжнародн. конф., 26-27 вересня 2019 р., С. 273-283.
8. Trenchek S. (2017). *Assessment of methane and spontaneous fire hazards level in the areas ventilated by refreshment of returned air in light of the applicable regulations*. Katowice, № 10. P. 21-28.
9. Костенко В.К., Булгаков Ю.Ф., Подкопаев С.В. и др. (2010). *Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах: монография*. Донецк: Изд-во «Ноулидж». 253 с.

ОСНОВИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ СТІЙКОСТІ ВУГЛЕВМІЩУЮЧИХ ПОРІД ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ

Шіроков О.З., доктор геол.-мін. наук, проф., член-кореспондент НАН

України, **Сафронов І.Л.**, кандидат геол.-мін. наук, доц.,

¹**Ішков В.В.**, канд. геол.-мін. наук, доц., ¹**Козій Є.С.**, канд. геол. наук

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна.

Анотація. Використання комплексу геолого-геофізичних методів дозволяє максимально детально і оперативно визначати фізико-механічні властивості вуглевміщуючих порід в їх природному заляганні безперервно по всьому геологічному розрізу свердловин, пробурених на родовищах. Запропонована методика прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід надає можливість оперативного і ефективного приймати рішення технічним підрозділам вуглевидобувних підприємств.

Вступ. Інженерно-геологічні дослідження, що включають вивчення фізико-механічних властивостей і стійкості порід покрівлі вугільних пластів є обов'язковими при геолого-економічній оцінці вугільних родовищ. У той же час, на пострадянському просторі фізико-механічні властивості вуглевміщуючих порід, як правило визначалися, та продовжують визначатися тільки лабораторними методами. При цьому, вивчення механічної міцності має проводитися в не менше ніж 20-25% розвідувальних свердловин. Такий спосіб вивчення властивостей гірських порід крім трудомісткості і високої вартості відбору та випробування зразків і ряду інших суттєвих недоліків, пов'язаних зі

зменшенням виходу і втратою керна в слабких породах покрівлі і ґрунту вугільних пластів, неможливістю охопити випробуванням всі розвідувальні свердловини у всьому інтервалі розрізу і не відтворюваності пресових випробувань.

Використання комплексу геолого-геофізичних методів дозволяє максимально детально і в той же час оперативно вивчати фізико-механічні властивості вуглевміщуючих порід в їх природному заляганні безперервно по всьому геологічному розрізу всіх свердловин, пробурених на родовищі. Використання геофізичних методів дослідження свердловин при подальшій побудові літолого-міцністних карт покрівлі і ґрунту вугільних пластів, карт стійкості порід покрівлі, її навантажувальних властивостей і керованості в значній мірі зменшує вплив перерахованих недоліків лабораторних визначень по керованим пробам і забезпечує необхідну повноту і надійність прогнозу поведінки порід в гірських виробках.

Необхідно враховувати, що так, як фізико-механічні властивості за своєю природою тісно пов'язані з літолого-фаціальними і петрографічними особливостями порід, а значення каротажних параметрів крім того залежать і від умов буріння, то різноманіття геологічних і свердловинних умов на різних вугільних родовищах (шахтних полях) навіть в межах одного геологічного району робить принципово неможливим розробку і застосування для розрахунків будь-якого з параметрів механічних властивостей гірських порід універсальних формул або догматичних рецептів. Тому, для визначення залежностей, що дозволяють розраховувати механічні властивості порід з досить високою точністю і надійністю в межах конкретних родовищ, необхідно проведення спеціального комплексу досліджень, які дозволятимуть творчо враховувати на підставі аналізу аналітичних та емпіричних даних конкретні природні і техногенні інформаційні особливості об'єкта досліджень.

Мета роботи полягає в розробці комплексної методики прогнозування стійкості вуглевміщуючих порід, що враховує весь вже існуючий масив геолого-геофізичної і гірничо-технологічної інформації, яка може і повинна застосовуватись, як при проектуванні нових вугледобувних підприємств, так і на вже діючих шахтах.

Результати (короткий опис методики). Комплексний метод прогнозування стійкості вуглевміщуючих порід запропонований авторами передбачає послідовне виконання трьох взаємопов'язаних етапів: 1) розрахунок межі міцності порід при стисненні і розтягуванні (пошарових і в масиві) для 20-метрового інтервалу покрівлі та 10 метрового ґрунту вугільних пластів за стандартним комплексом геофізичних вимірювань в свердловинах з використанням обмеженої кількості прямих лабораторних визначень; 2) виділення і кількісна оцінка ослаблених кавернозно-тріщинуватих зон в розрізах свердловин за даними стандартного і акустичного каротажу і геологічної документації; 3) характеристика активної покрівлі вугільних пластів по стійкості, навантажувальним властивостям і керованості.

Поетапний комплексний підхід до прогнозу поведінки порід дозволяє з найбільшою повнотою використовувати дані геологічної розвідки (стандартний і акустичний каротаж, опис керна, результати лабораторних визначень) і дати характеристику активної покрівлі за трьома основними показниками. До найважливіших геологічних причин, що визначає стан виробок, відносяться глибина залягання і міцність порід, схильність їх до розшарування, обводненість і літологічний склад, наявність міжшарових зрушень, розвиток кавернозно-тріщинуватих зон та ін. Виявлення, облік і оцінка цих факторів традиційними методами, заснованими на документації і лабораторних дослідженнях керна, вже не задовольняють вимогам проектних і експлуатаційних організацій. Тому в останні 15-20 років все ширше застосовуються методи непрямой оцінки фізико-механічних властивостей гірських порід за даними геофізичних досліджень. Використання результатів стандартного комплексу вугільного каротажу дозволяє мінімум в 5-6 разів збільшити вихідні дані і суттєво підвищити достовірність прогнозу.

Перший етап. Незважаючи на різний підхід до порядку і форми обробки фактичного матеріалу, а також до вибору території, для якої прораховуються кінцеві рівняння, в основі методу оцінки фізико-механічних властивостей лежить статистична обробка даних, кореляційний і регресійний аналіз з розрахунками рівнянь парної і множинної регресії. Методика, розроблена в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» під керівництвом члена-кореспондента Національної академії наук України О.З. Широкова відповідає всім вимогам нормативних документів, що регламентують вивчення механічних властивостей вуглевміщуючих порід і вугілля при проведенні геолого-економічної оцінки вугільних родовищ і проектуванні нових виробок на діючих вугледобувних підприємствах.

Вона передбачає строгий облік конкретних геологічних умов (літолого-фаціальний і петрографічний склад, ступінь катагенезу, характер залягання порід, наявність розривних порушень та інших ослаблених зон) кожної окремої ділянки (шахтного поля), для якого проводяться дослідження.

Обробляються обмежена кількість результатів лабораторних випробувань механічних властивостей порід і найбільш інформативних стандартних методів каротажу, що мають з ними стійкі і тісні зв'язки. Найчастіше це КС-градієнт зонд, КС-потенціал зонд, ГК каротаж і кавернометрія. Результати останньої пов'язані з механічною міцністю порід нелінійною залежністю. Цей метод найбільш чутливий при малих і середніх значеннях межі міцності порід на стиск (до 60 - 65 МПа)

Параметри КС пов'язані з показниками міцності залежністю, близькою до лінійної. Однак при малих опорах, відповідних породам з низькою механічною міцністю зв'язок стає нелінійним, а метод малочутливим. Зазвичай природна радіоактивність осадових порід знаходиться в зворотній залежності з їх міцністю, причому метод найбільш ефективний для порід середньої міцності і міцних. Тіснота зв'язку між механічною міцністю порід і зазначеними параметрами в парних рівняннях регресії характеризується, як правило

коефіцієнтами кореляції від 0,72 до 0,99. Зіставлення значень міцності отриманими шляхом пресових випробувань в лабораторних умовах і розрахованих за результатами акустичного і стандартного комплексу каротажу, дозволяє вважати ці методи рівноточними. Розраховані за допомогою рівнянь регресії показники міцності (пошарові і в масиві) для 20 м покрівлі та 10 м ґрунту вугільних пластів, беруть в основу побудови прогностичних літолого-міцнісних карт (наприклад, рис.1).

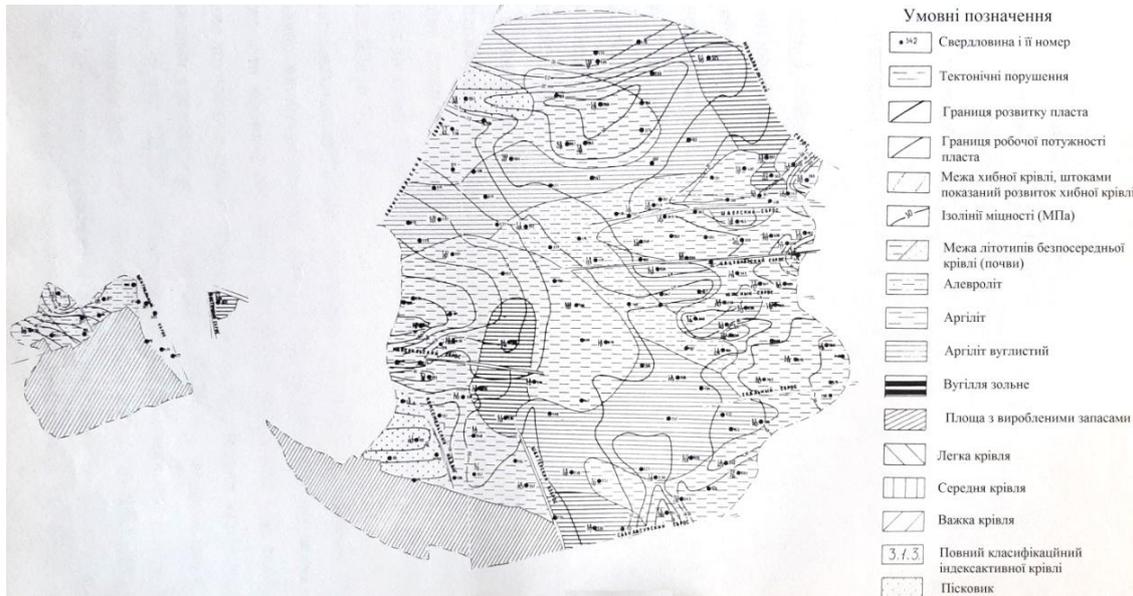


Рисунок 1- Літолого-міцнісна карта покрівлі пласту III₁₊₂ Ткібулі-Шаорського вугільного родовища (Грузія)

Другий етап прогнозування стійкості вуглевміщуючих порід передбачає виділення і оцінку ослаблених зон у покрівлі і ґрунту пластів в свердловинах за стандартним комплексом геофізичних досліджень, акустичному каротажу і геологічної документації. Застосування стандартного комплексу дозволяє не тільки встановити просторове положення ослабленої зони, але і дати їй кількісну оцінку. Акустичний каротаж добре виділяє зони дроблення, тріщинуватості і горизонти перем'ятих порід. Ці ж зони відзначаються в геологічних журналах при пошаровому описі керн і майже завжди супроводжуються його втратами. Метод кавернометрії і щільнісний гамма - гамма каротаж дозволяють виділити порушені інтервали порід і пов'язані з ними прямою залежністю.

Вплив бурової колони на зростання діаметра свердловини при інших рівних геологічних умовах визначається глибиною підбурки під пласт і кривизною стовбура свердловини. Щоб виключити вплив цих факторів на характеристику кавернозно - тріщинуватої зони в розрахунок вводиться відносне збільшення діаметра свердловини, як різниця між діаметром конкретної каверни і середнім фактичним діаметром свердловини в інтервалі активної покрівлі і ґрунту вугільного пласта. Для кількісної оцінки ослаблених зон за даними кавернометрії в свердловинах авторами запропонований коефіцієнт кавернозності K , що відображає ступінь ураженості вуглевміщуючих порід ослабленими зонами.

Третій етап. При побудові карт розвитку ослаблених зон картографічною основою є одномасштабні гіпсометричні плани вугільних пластів. На них біля кожної із свердловин виносяться значення коефіцієнта K , будується контур передбачуваної помилкової покрівлі, тектонічні порушення і деякі інші дані. Зміни кавернозності (ступеня ослаблення) порід покрівлі (грунту) вугільного пласту зображуються ізолініями, які будуються методом лінійної інтерполяції на площі досліджуваної ділянки (шахтного поля).

Як відомо, поведінка порід в гірських виробках характеризується їх здатністю чинити опір гірському тиску після оголення і переходу в стан граничної рівноваги. Сам процес переходу залежить від мінливості природних особливостей порід і розвивається в просторі і часі. Стійкість виробленого простору визначається динамікою розвитку геомеханічної системи покрівля - цілик - грунт. Конкретні умови прояву гірського тиску викликані природними і техногенними факторами, сукупність яких і формує конкретну геомеханічну обстановку [1, 2, 3, 4]. Існуючі у вугільних басейнах світу класифікації порід покрівлі за ступенем їх стійкості можна поділити на дві групи: гірничотехнічні і гірничо-геологічні. У гірничотехнічних класифікаціях головними ознаками є площа і тривалість стійкого оголення нижніх шарів покрівлі загальною потужністю до 1 м. Основний недолік такого підходу - відсутність обліку речових і текстурно-структурних особливостей, а також тих площин ослаблення (кавернозно - тріщинуватих зон), які закладалися в породах процесами седиментогенезу і всім наступним періодом геологічного розвитку вугленосного комплексу. Гірничо-геологічні класифікації концептуально базуються на тому, що стійкість і характер обвалення порід визначаються їх фізико-механічними властивостями і геологічними особливостями. Гірничо-геологічні класифікації відрізняються тим, що вони розкривають причини різної поведінки порід в гірничій виробці і дозволяють передбачити їх характер попереду очисного вибою, а гірничотехнічні класифікації тільки констатують фактичний стан порід при різних умовах розробки і є в цьому сенсі пасивними.

Навантажувальні властивості покрівлі очисних виробок залежать від потужності в її розрізі порід, що легко обвалюються, від потужності і кроку обвалення порід, що важко обвалюються. Основний критерій поділу покрівлі на типи по навантажувальних властивостях - відношення сумарної потужності шарів порід, що знаходяться в інтервалі активної покрівлі і які легко обвалюються, до потужності вугільного пласта що виймається. Це відношення характеризує частку участі порід, які важко обвалюються у формуванні зовнішнього активного навантаження, переданої ними на кріплення очисної виробки. Під керованістю покрівлі розуміється її здатність піддаватися впливу комплексу заходів, що забезпечують безпечну роботу шахтарів та запобігання вивалу порід в призабійний простір, затискання кріплень, завали очисних вибоїв і в цілому стійкість контуру гірничих виробок до динамічно мінливих в часі і просторі різноманітних негативних проявів гірського тиску. Керованість покрівлі визначається її стійкістю і навантажувальними властивостями. Карти стійкості покрівлі очисних виробок (наприклад, рис. 2), що містять інформацію

про площі розвитку помилкової покрівлі та кавернозно - тріщинуватих зонах, про стійкість безпосередньої покрівлі, про тип основної покрівлі по навантажувальним властивостям, а отже, і про клас керованості активної покрівлі, є вихідними матеріалами, які дозволяють зробити вибір способів управління покрівлею, обґрунтувати паспорти кріплення, забезпечити безпеку праці, поліпшити планування і техніко-технологічний супровід організації гірських робіт на діючих шахтах, створити найбільш раціональні схеми і порядок відпрацювання вугільних пластів при проектуванні нових вугледобувних підприємств.

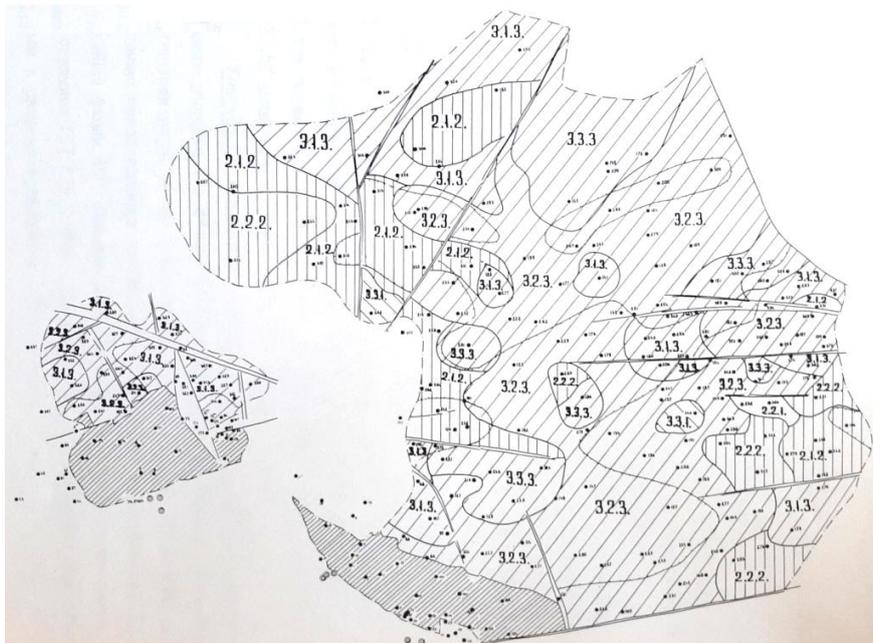


Рисунок 2 - Карта стійкості покрівлі очисних виробок пласту IV₁₊₂ Ткібулі-Шаорського вугільного родовища (Грузія), умовні позначення наведені на рис. 1

Висновки. Розроблена комплексна методика прогнозування стійкості вуглевміщуючих порід враховує весь вже існуючий масив геолого-геофізичної і гірничо-технологічної інформації повністю задовольняє існуючі нормативні вимоги, як при проектуванні нових вугледобувних підприємств, так і вже на діючих шахтах. Вона може і повинна застосовуватись при плануванні і проектуванні елементів системи розробки з урахуванням управління гірським тиском і зрушення порід; проектуванні вискоєфективних способів ведення гірничих робіт; прогнозуванні ступеня їх небезпеки.

Список літератури

1. Войтенко В.С. (1985). *Управление горным давлением при бурении скважин*. М: Недра. 181 с.
2. Глушко В.Т., Криничанский Г.Т. (1974). *Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких угольных шахт*. М: Недра. 175 с.
3. Булин Н.К. (1971). *Современное поле напряжений в верхних горизонтах земной коры*. Геотектоника. №3. С. 3-15.
4. Алимжанов М.Г. (1992). *О постановке задачи устойчивости стенок глубоких скважин*. Доклады РАН. Т. 325. №3. С. 445-449.