

Реферат до наукової роботи:

«Нові методи моделювання та технології проєктування багатопараметричних процесів керування станом гірського масиву для застосування ресурсозберігаючих способів кріплення виробок»

Автори роботи: Хорольський А.О., Виноградов Ю.О.

Актуальність роботи.

Сьогодні процес відпрацювання родовищ неможливо розглядати з позиції середини ХХ сторіччя, коли під ефективним виробництвом розуміли лише комплексне використання природних ресурсів, що дозволяє отримати економічний ефект. Основний тренд у світі при відпрацюванні родовищ – відповідність сталому природокористуванню. Сьогодні природокористування – це використання властивостей навколишнього природного середовища для задоволення економічних, екологічних, оздоровчих, лікувальних, культурних, естетичних та ін. потреб людини і суспільства. Норми, якими регулюється порядок природокористування в Україні, містяться у Конституції України, Водному, Земельному, Лісовому кодексах, Кодексі про надра, законах про охорону навколишнього природного середовища, атмосферного повітря, тваринного, і рослинного світу, природно-заповідного фонду та ін. нормативно-правових актах, які сукупно становлять інститут права природокористування.

Із наведеного вище аналізу слідує ряд важливих висновків, які формують актуальність запропонованої роботи:

- по-перше, процес розробки родовищ включає ряд вимог до процесу освоєння, які полягають не тільки у виборі економічно переважного варіанту, але і найбільш надійного з точки зору гірничої технології, адже збереження стійкості гірничого масиву дозволяє зберегти стан масиву у непорушеному вигляді, що мінімізує порушення водоносних горизонтів;
- по-друге, при вирішенні задач, які супроводжують розробку родовищ корисних копалин, а це і управління станом гірничого масиву, на ефективність процесу впливає ряд факторів, які мало пов'язані між собою та різні за своєю природою; при цьому, комплексно врахувати усі фактори неможливо, тому необхідно запропонувати універсальний підхід;
- по-третє, на стадії проєктування необхідно виконати ряд вимог, які полягають у виборі екологічно переважного процесу; якщо розглядати задачу управління станом гірничого масиву, то екологічно переважна технологія передбачає зменшення кількості матеріалів на спорудження виробок,

збереження перерізу виробок, що дозволить зменшити негативний вплив проведення підземних робіт на стан земної поверхні.

Отже, якщо розглядати процес розробки родовищ, то можна стверджувати, що це комплексна проблема, яка включає не тільки обґрунтування технології, але і економічний та екологічний аналіз запропонованого рішення, при цьому ефективність процесу визначається сукупністю факторів, які різні за природою та ступенем впливу. Саме тому, виникла проблема в розробці нових інструментів моделювання та технологій проектування багатопараметричних процесів. Управління станом гірничого масиву відноситься до класу задач технологічних аспектів фізики гірничих процесів, коли з одного боку безпосередньо гірничо-геологічні параметри здійснюють вплив на технологію спорудження виробок, а з іншого боку – технологія гірничих процесів здійснює вплив на стан масиву. Тому, в роботі, вперше на процес відпрацювання родовищ поглянуто в комплексі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана в Інституті фізики гірничих процесів Національної академії наук України. Автори приймали участь як виконавці у роботах: «Вплив нерівнокомпонентного об'ємного навантаження на формування граничного стану гірничого масиву навколо виробки з урахуванням його фізичних властивостей», (№ держреєстрації 0112U002028), «Розробка моделі вивільнення потенціальної енергії деформованого масиву гірських порід та її випробування в умовах експлуатації родовищ корисних копалин» (№ держреєстрації 0117U002193), «Встановлення закономірностей зміни фізико-механічного стану гірничого масиву при підземній розробці вугільних пластів (№ держреєстрації 0107U002130)», «Виявлення дисипативних структур та дослідження їх параметрів й еволюції під час необоротного деформування масивів гірських порід та ґрунтів» (№ держреєстрації 0120U100081); «Ресурсозберігаючі технології підтримки виробок у складних гідрогеологічних умовах» (№ держреєстрації 0119U102370).

Мета роботи полягає у встановленні оптимально узгоджених параметрів процесу експлуатації родовищ корисних копалин на основі розробки способу зниження водопритливу і підвищення стійкості гірничих виробок в складних гідрогеологічних умовах з урахуванням дослідження зміни стану корисної копалини від балансових запасів до кінцевої продукції.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- дослідити особливості відпрацювання родовищ корисних копалин, які полягають в організації заходів, які безпосередньо не пов'язані з процесами експлуатації та отриманням кінцевої продукції, що дозволить визначити наявні резерви підвищення ефективності;

- дослідити основні тенденції до вирішення проблем підвищення ефективності експлуатації родовищ корисних копалин, які включають аналіз технологічних схем, технологій, заходів та засобів отримання запропонованих рішень, що дозволить запропонувати нові методологічні підходи до процесу проектування;

- провести фундаментальні дослідження у галузі фізики гірничих процесів, щодо моделювання геомеханічних процесів у масивах гірських порід, моделювання водопроявів у виробки на основі врахування гідрогеологічних параметрів;

- розробити математичну модель фільтраційної взаємодії виробки і водоносних порід з урахуванням напружено-деформованого стану приконтурних порід;

- встановити закономірності зміни параметрів фільтрації води в гірничу виробку в залежності від гідрогеологічних умов її проведення і способу кріплення.

- виконати дослідження впливу водостійкості вміщуючих порід на стійкість виробки з рамним і анкерним кріпленням.

- розробити спосіб зниження водоприпливу в гірничу виробку з застосуванням анкерного кріплення і виконати його апробацію в шахтних умовах.

- встановити зв'язок між гідрогеологічними чинниками та технологічними процесами, які дозволяють мінімізувати негативний вплив водоприпливу у виробки, визначити критерії доцільності застосування кріплення;

- запропонувати універсальний інструмент щодо врахування негативного впливу виробництва на довкілля, що сприятиме урахуванню додаткових етапів ще на стадії проектування технології розробки;

- розробити комплексні рекомендації з визначення оптимальної технології відпрацювання родовищ корисних копалин та провести економічні розрахунки, щодо можливості застосування технологічних рішень, що сприятиме виконанню державної політики у сфері природокористування.

Ідея роботи полягає в представленні процесу керування станом гірського масиву як складової зміни стану запасів корисної копалини від балансових до вилучених з надр з врахуванням гідрогеологічних чинників при побудові мережевої моделі, яка враховує технологічні процеси при спорудженні та експлуатації виробок.

Об'єкт дослідження: процеси порушення масивів гірських порід при підземному видобутку корисних копалин.

Предмет досліджень: закономірності розвитку геомеханічних, гідрогеомеханічних процесів у масивах гірських порід, що характеризують їх стійкий стан.

Методи дослідження. Застосовано комплексний підхід, який включає аналіз і узагальнення літературних і експериментальних даних, теоретичні дослідження, що базуються на методах механіки суцільних середовищ, чисельне моделювання з використанням методу скінченних елементів; статистичний аналіз показників роботи підприємств гірничозбагачувального комплексу для визначення раціональних умов функціонування, встановлення пріоритетних керуючих факторів, які формують рівень продуктивності; застосування методів дискретної математики для вибору надійних способів кріплення з подальшою оптимізацією та впорядкуванням структури технологічного циклу спорудження виробок в складних гідрогеологічних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів:

- отримано нові математичні моделі усталеної і несталеної фільтрації води в гірничу виробку при підробці обводнених порід з врахуванням зміни проникності приконтурних порід в залежності від їх напружено-деформованого стану, що дозволило розвинути уявлення про процеси фільтрації води у виробку у напрямку дослідження анкерного кріплення як засобу боротьби з водопріпливами;

- вперше а результаті розв'язання задачі про підробку водоносного прошарку виробкою з рамним і анкерним кріпленням отримані значення поля напружень, зони непружних деформацій, значення коефіцієнтів проникності, тиску води, швидкостей її фільтрації і витрат в кожній точці досліджуваної області в різні моменти часу, для різних значень пластового тиску води і висоти розташування водоносного шару;

- в результаті рішення задачі про підробіток водоносного вугільного прошарку отримані значення напружень, зони непружних деформацій,

значення коефіцієнтів проникності, тиску води на різних часових ітераціях, показані і проаналізовані зміни фільтраційних і геомеханічних параметрів навколо виробки в плинні часу для анкерного та рамного-анкерного типів кріплення, що дозволило описати механізм активізації процесів деформування, руйнування приконтурних порід, які з часом захоплюють близькорозташовані водоносні шари, з яких починається перетікання води у виробку;

- вперше на основі дослідження фільтрації води у виробку встановлено, що водоприток із зони перетину обводненого породного прошарку і порушеної області навколо гірничої виробки параболічно знижується зі збільшенням висоти розташування водоносного прошарку над виробкою і лінійно зростає зі збільшенням пластового тиску води, причому використання анкерного кріплення в обох випадках призводить до зменшення інтенсивності фільтраційного руху в 1,5-2,0 рази;

- вперше на основі комплексного дослідження параметрів гірського масиву встановлено, що в водонестійких породах водоприток в виробку з рамним кріпленням збільшується на 66%, в виробках з анкерним кріпленням – на 20%, таким чином використання анкерного кріплення знижує водоприток в виробку, розташовану в водостійких породах, в 2,5 рази, в водонестійких породах – в 3,4 рази.

- було створено новітні підходи, щодо керування станом гірського масиву, які дозволяють забезпечити стійкість масиву, а оптимізувати витрати при спорудженні виробок у складних гідрогеологічних умовах;

- встановлено зв'язок між гідрогеологічними чинниками та технологічними процесами, які дозволяють мінімізувати негативний вплив водопритоків у виробки; визначено критерії доцільності застосування кріплення; запропоновано підхід, а також програмні засоби, що дозволило мінімізувати витрати на спорудження та експлуатацію виробок.

- вперше проблему забезпечення стійкості виробок у складних гідрогеологічних умовах було розглянуто, через вплив несприятливих гідрогеологічних умов на ризики виробництва, при цьому враховувались різні характеристики порід (водоприток, ступінь обводнення порід, фільтрація, ступінь водонасичення);

- запропоновано новітні підходи щодо вирішення багатопараметричної задачі управління станом гірського масиву шляхом дослідження зміни стану запасів від балансових до вилучених з надр.

Наукове значення роботи полягає встановленні закономірностей зміни геомеханічних параметрів гірського масиву у залежності від типу кріплення на основі дослідження зміни стану корисної копалини від балансових запасів до кінцевої продукції, що дозволило обґрунтувати параметри процесу експлуатації родовищ корисних копалин на основі розробки способу зниження водоприпливу і підвищення стійкості гірничих виробок в складних гідрогеологічних умовах.

Практичне значення роботи:

- виконано верифікацію розробленої математичної моделі, що дозволило отримати уявлення про зміну геомеханічних параметрів у залежності від типу кріплення, для цього порівняно розрахункові і фактичні водоприпливи в Східний магістральний відкотний штрек пласта С4 ш. ім. Сташкова ШУ "Дніпровське" ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля" при різних способах його кріплення;

- розроблені математичні моделі фільтрації води в масиві гірських порід, що деформується, підтверджені патентом на корисну модель «Спосіб дослідження стану обводненого гірського масиву навколо гірничої виробки» (патент UA 114572);

- розроблено спосіб зниження водоприпливу з використанням анкерного кріплення, за допомогою якого навколо виробки створюється непроникний породно-анкерний шар; розроблений спосіб був успішно застосований на шахтах «Самарська» ВСП ШУ «Тернівське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і ВСП «ШУ імені Героїв Космосу» при переході високоамплітудного порушення Богданівський скид, де повністю попереджено водоприплив в небезпечній зоні;

- розроблено «Методику розрахунку параметрів фільтрації води навколо гірничої виробки при підробці обводнених порід з урахуванням напружено-деформованого стану породного масиву», яка використовується для вибору типу кріплення виробки в складних гідрогеологічних умовах на шахтах «Степова» та «Ювілейна» ВСП «ШУ Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»;

- було розроблено підходи щодо оптимізації витрат при спорудженні виробок у складних гідрогеологічних умовах (отримано експрес-модель та уточнену модель), ідея полягає у врахуванні гідрогеологічних чинників при побудові мережевої моделі, яка враховує технологічні процеси при спорудженні та експлуатації виробок;

- запропоновано структуру банку проектних рішень, який включає ряд рівнів за типами кріплення, технологією спорудження виробок, обладнанням, матеріалами, все це дозволить значно зменшити витрати на стадії зведення виробок у складних гідрогеологічних умовах, при цьому область застосування не обмежується гірничовидобувною галуззю.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечується коректністю поставлених задач, використанням відомих законів і рівнянь механіки суцільних середовищ, застосуванням ефективних чисельних методів рішення, позитивною верифікацією розробленої математичної моделі та успішною апробацією результатів роботи в шахтних умовах.

Загальнодержавне значення отриманих результатів роботи. Станом на 2020 рік розвідано понад 8 тисяч родовищ, які включають понад 90 видів корисних копалин. Але наразі належного їх відпрацювання немає. Це пояснюється комплексом проблем, які виникають ще на стадії проектування та потребують врахування не тільки економічних, експлуатаційних, організаційних чинників, але і соціальних, екологічних, правових норм. Тобто сьогодні вже неможливо розглядати процес відпрацювання родовища лише з позиції отримання прибутку або вирішення однієї поставленої мети. В роботі, вперше на процес відпрацювання родовищ поглянуто в комплексі. З позиції екологічних аспектів вдалося запропонувати рекомендації щодо підвищення стійкості масиву та забезпечення стійкості земної поверхні. Вказані дослідження дозволяють мінімізувати негативні явища, пов'язані із видобутком корисних копалин підземним способом, у вигляді порушеності водоносних горизонтів, що призводить до мінералізації вод та погіршення стану водних ресурсів. В економічному вимірі наведено комплексні дослідження із: обґрунтування раціональної технології спорудження виробок, що сприятиме зменшенню собівартості зведення; запропоновано ресурсозберігаючі способи підвищення стійкості масиву гірських порід, що дозволяє скоротити витрати допоміжних матеріалів. Очікуваний економічний ефект при застосуванні новітніх технологій для розрахунку величини водоприпливу при посиленні рамного кріплення анкерним склав 800 тис. грн за рахунок зниження обсягів ремонтних робіт і збереження перерізу підготовчих виробок, а також стабільної роботи в зонах обводнених порід. Таким чином, економічний ефект від застосування прийнятих технологічних рішень, а також економії матеріалів складе від 9 до 12 млн грн (у залежності від методики розрахунків) на один

штрек. Таким чином, в роботі наведено інструмент, щодо задач керування станом гірського масиву. Нові методи моделювання дозволяють провести дослідження масиву гірських порід, що сприятиме застосуванню ресурсозберігаючих способів підтримки виробок. Характерною особливістю вказаної роботи є те, що вона є комплексною, коли на складну проблему керування станом масиву поглянуто, як з фундаментальної точки зору, коли досліджуються характеристики масиву (фільтрація, водопріплив, обводненість), так і з практичної (етапи спорудження, мінімізація собівартості, розробка способів підвищення стійкості).

Робота виконана у відповідності до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України у напрямку енергетики та енергоефективності, раціонального природокористування (Закон України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», ст. 3), відповідає Закону України «Про державне прогнозування та розроблення програм економічного і соціального розвитку України» у напрямку прогнозу розвитку галузей виробництва на середньостроковий період (ст. 13). Відповідає Концепції державної цільової економічної програми реформування вугільної промисловості на період до 2020 року, Новій Енергетичній стратегії України до 2035 року. Узгоджується з напрямами державної політики України у сфері регулювання гірничих відносин («Гірничий закон України», ст. 7, 11, 18).

Реалізація результатів роботи. Масштабність реалізації роботи підтверджується розробкою «Методика розрахунку параметрів фільтрації води навколо гірничої виробки при підробці обводнених порід з урахуванням напружено-деформованого стану породного масиву», яка впроваджена на шахтах «Степова» та «Ювілейна» ВСП «ШУ Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Розроблений спосіб зниження водопріпливу був успішно застосований на шахтах «Самарська» ВСП ШУ «Тернівське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» при проведенні відкотного квершлягу пл. С₁₀^В і ПСП «ШУ імені Героїв Космосу» при проведенні відкотного квершлягу пл. С₅ при переході високоамплітудного порушення Богданівський скид, де повністю попереджено водопріплив в зазначені виробки. Новітні методи вирішення багатопараметричних задач були представлені при розробці «Рекомендації з вибору області раціональної експлуатації очисного обладнання для конкретних умов», які прийняті до впровадження на шахті ДП ВК «Краснолиманська».

Значимість одержаних результатів у порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами. Запропонована робота створює новий

підхід щодо прийняття рішень на стадії проектування. Наразі за кордоном відомі лише підходи, що базуються на застосуванні методів аналізів ієрархій (Analytic Hierarchy Process) розроблений Т. Сааті [Thomas Saaty], в роботах М. Атаєї [M. Ataei], С. Алпайя [S. Alpay], М. Даскіна [M. Daskin] описано застосування в гірничому виробництві. Єдиним недоліком описаних підходів є те, що вони не можуть бути використані в інформаційних моделях. Саме тому було створено новий підхід, який враховує зміну стану запасів, а також дозволяє застосувати інформаційні технології. При моделюванні зміни стану запасів родовища на кожному етапі виробничого процесу слід приймати оптимальне рішення, щодо обґрунтування раціональних параметрів експлуатації, які полягають не тільки в зменшенні собівартості видобутку але і мінімізації негативного впливу на довкілля. Вказана робота узгоджується зі світовими трендами, зокрема, при аналізі самих цитованих робіт у галузі природокористування (Radwanek-Bak, B. (2007). The concept of multi-criteria mineral resources protection. *Environmental geology*, 52(1), 137-145; Stojanovic, C., Bogdanovic, D., & Urosevic, S. (2015). Selection of the optimal technology for surface mining by multi-criteria analysis. *Kuwait Journal of Science*, 42(3); Samimi Namin, F., Shahriar, K., Ataee-Pour, M., & Dehghani, H. (2008). A new model for mining method selection of mineral deposit based on fuzzy decision making. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108(7), 385-395.) робиться акцент на тому, що необхідно досліджувати спільно екологію, геологію, економіку. Тому, на основі робіт робиться важливе уточнення, що при визначенні стратегії освоєння слід враховувати економічні, екологічні, геологічні умови. Науково-прикладна новизна результатів підтверджується створенням нових технологічних рішень щодо боротьби з водоприпливами, до теперішнього часу анкерне кріплення не розглядалося як засіб зниження водоприпливів, тому в даній роботі обґрунтовано можливість використання анкерного кріплення для вирішення задачі зниження водоприпливу в гірничі виробки, які проводяться в складних гідрогеологічних умовах.

Отже, розроблені та представлені технічні рішення ґрунтуються на принципах сталого природокористування та є новими та оригінальними.

Апробація роботи. Основні положення та результати досліджень доповідалися на міжнародних, всеукраїнських конференціях, форумах, семінарах: Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Досвід минулого – погляд у майбутнє» (Тула, 2011), конференції молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки корисних копалин»

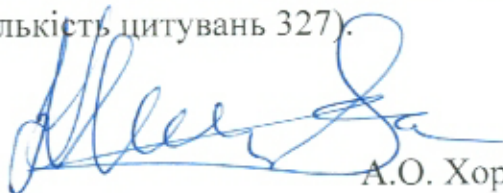
(Дніпропетровськ, 2015, 2017, 2018–2020), Форумі гірників (Дніпропетровськ, 2015–2018, 2020), «Донбас – 2020: перспективи розвитку очима молодих вчених» (Покровськ, 2016), «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту» (Дніпро, 2016, 2017), «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (Кривий Ріг, 2016, 2017), «Розробка родовищ корисних копалин та промислова екологія» (Житомир, 2017), «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (Житомир, 2017, 2020), «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв» (Красноармійськ, 2015), «Технології і процеси в гірництві та будівництві» (Покровськ, 2017), «Школа підземної розробки» (Дніпро, 2016, 2017), «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення» (Житомир, 2017), «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» (Республіка Білорусь, Мінськ, 2017–2020), «Сатпаевские чтения» (Республіка Казахстан, 2018), Всеукраїнській науковій конференції «Сучасні Тенденції розвитку української науки» (Переяслав-Хмельницький, 2018 р.), наукових семінарах ІФГП НАН України, «Сатпаевские чтения» (Республіка Казахстан, 2018), «II Бекжановские чтения» (Республіка Казахстан, 2019), «Szkoła Eksploatacji Podziemnej» (Польща, 2020), «Українська школа гірничої інженерії» (Бердянськ, 2020), Environmental Innovations: Advances in Engineering, Technology and Management EIAETM-2019, Physical & Chemical Geotechnologies (Дніпро, 2019), Міжнародному геологічному форумі (Одеса, 2020).

Публікації. Загальна кількість публікацій авторів за темою роботи складає 69, в т.ч. 35 статей (19 – у зарубіжних виданнях, 7 – у англійських журналах з імпаکت-фактором). Авторами отримано 2 патенти на винахід, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

За даною тематикою захищено дві дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

h-індекс роботи за наукометричними базами даних: Scopus – 4 (загальна кількість цитувань 31), Web of Sciences – 1 (загальна кількість цитувань 4); Google Scholar – 11 (загальна кількість цитувань 327).

Автор роботи,
кандидат технічних наук



А.О. Хорольський

Автор роботи,
кандидат технічних наук



Ю.О. Виноградов