

**Рішення спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії**

Здобувач ступеня доктора філософії Валерій ЯКОВЕНКО, 1976 року народження, громадянин України, освіта вища. У 2007 році закінчив Донецький національний технічний університет за спеціальністю «Розробка родовищ корисних копалин». У 2023 році вступив до аспірантури Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за спеціальністю 184 «Гірництво», виконав акредитовану освітньо-наукову програму «Гірництво».

Разова спеціалізована вчена рада, утворена рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро від «29» жовтня 2025 року Протокол №16, Наказ від «29» жовтня 2025 року №182 у складі:

Голова разової спеціалізованої Вченої ради:

Загриценко Аліна Миколаївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Рецензенти:

Саїк Павло Богданович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро;

Руських Владислав Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Офіційні опоненти:

Курносів Сергій Анатолійович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро;

Гайко Геннадій Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної геотехнології та гірничих споруд Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

На засіданні «15» грудня 2025 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 18 «Виробництво та технології» Валерію Яковенку на підставі публічного захисту дисертації «Наукове обґрунтування параметрів попереднього ін'єкційного закріплення тріщинуватих порід

приконтурного масиву в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське» за спеціальністю 184 «Гірництво».

Дисертацію виконано у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка»; МОН України, м. Дніпро.

Науковий керівник **Бондаренко Володимир Ілліч**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гірничої інженерії та освіти НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, українською мовою.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни властивостей консолідованого поліуретановими смолами масиву залежно від співвідношення жорсткої та полімерної фаз, взаємозв'язку тріщинної пустотності з індексом геологічної міцності, що визначає вплив цих факторів на трансформацію геомеханічного стану приконтурного масиву, дозволяє обґрунтувати параметри його ін'єкційного закріплення та забезпечити стійкість виїмкових виробок як при їх проведенні, так і під подальшим впливом фронту очисних робіт.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

- встановлені залежності зміни фізико-механічних властивостей композитного матеріалу з різними співвідношеннями жорсткого породного скелету та полімерної матриці з поліуретанової смоли;

- досліджено геомеханічний стан масиву зі зниженням геологічного індексу міцності у діапазоні $GSI = 50 \dots 20$, що імітує входження прохідницького вибою у зону геологічного порушення й встановлено порогове значення $GSI \leq 35$, за якого необхідно термінове застосування ін'єкційного зміцнення масиву поліуретановою смолою;

- надано кількісно-якісну геомеханічну оцінку стану приконтурного масиву, зміцненого поліуретановою смолою: при проведенні виїмкового 7 штреку зміщення боків знижуються у 5 разів, покрівлі – 2 рази, а у по дальшому на сполученні «лава – штрек» відповідно у 2,6 та 3,75 раз;

- встановлено поліноміальні залежності зміни зміщень покрівлі та боків виїмкового штреку в залежності від ширини зміцнення приконтурної зони поліуретановою смолою, що дозволяє за технологічними особливостями піддатливості кріплення прогнозувати оптимальну ширину зміцнення.

уточнено:

- експоненційний кореляційний зв'язок ступеня тріщинної та міжфракційної пустотності для різних літотипів (алевроліт, пісковик) з індексом його геологічної

міцності (GSI) масиву у зонах впливу дрібноамплітудних геологічних порушень для умов розробки запасів шахтного поля ПрАТ ШУ «Покровське».

За результатами виконаних досліджень опубліковано 8 наукових праць, у тому числі 2 статті у виданнях, що індексовані у наукометричних базах даних Scopus та Web of Sciences, 1 стаття у фаховому науковому виданні з переліку МОН України, 5 публікації у матеріалах міжнародних та вітчизняних конференцій.

*Статті у журналах, що індексуються наукометричними
базами даних Scopus та/або Web of Science:*

1. Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., Kovalevska, I.A., Shyshov, M.V., & **Yakovenko, V.H.** (2023). Geomechanical substantiation of parameters for safe completion of mining the coal reserves adjacent to main workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 46-52. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/046>

2. Symanovych, H., Odnovol, M., **Yakovenko, V.**, Sachko, R., Shaikhislamova, I., Reshetilova, T., & Stadnichuk, M. (2023). Assessing the geomechanical state of the main working network state in the case of undermining in the conditions of weak rocks. *Mining of Mineral Deposits*, 17(2), 91-98. <https://doi.org/10.33271/mining17.02.091>

*Статті у наукових фахових виданнях, включених
до переліку наукових фахових видань України:*

1. **Яковенко, В.Г.**, Бондаренко, В.І., Петльованій, М.В., Ковалевська, І.А., & Драгун, Д.В. (2024). Аналіз особливостей вивалоутворення приконтурних порід виїмкових виробок та шляхи досягнення їх стійкості. *Збірник наукових праць НГУ*, (76), 127-141. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.12>

Тези доповідей у матеріалах всеукраїнських та міжнародних конференцій

1. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Petlovanyi, M., **Yakovenko, V.**, & Sachko, R. (2023). The use of injection fixing to prevent the roof rock inrush at the junction of longwall faces with extraction drifts. In *Materials of the International Conference "XXXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej"*. Krakow, Poland: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza.

2. Бондаренко, В., **Яковенко, В.**, & Петльованій, М. (2023). Аналіз особливостей вивалоутворення порід при проведенні виїмкових виробок в 9 умовах ПрАТ «ШУ «Покровське». В *Матеріалах XVI міжнародної науково практичної конференції «Українська школа гірничої інженерії»* (с. 15-16). Східниця, Україна: ЛізуновПрес. <https://doi.org/10.33271/usme16.015>

3. Bondarenko, V.I., Kovalevska, I.A., Petlovanyi, M.V., & **Yakovenko, V.**

(2024). Principles of chaos theory in solving applied geomechanics problems. In *Materials of the 17th International Conference "CHAOS"*. Crete, Greece: Cultural Centre of Chania.

4. **Яковенко, В.** (2024). Експериментальні дослідження зміцнення покрівлі вугільного пласта поліуретановою смолою в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське». В *Матеріалах XVII міжнародної науково-практичної конференції «Українська школа гірничої інженерії»* (с. 13-14). Східниця, Україна: ЛізуновПрес. <https://doi.org/10.33271/usme17.013>

5. **Яковенко, В.** (2025). Оцінка стану масиву у зонах геологічних порушень для його ін'єкційного закріплення в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське». В *Матеріалах XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Українська школа гірничої інженерії»* (с. 33-34). Східниця, Україна: ЛізуновПрес. <https://doi.org/10.33271/usme18.033>

У дискусії взяли участь (голова, рецензенти, офіційні опоненти):

Голова ради:

Загриценко Аліна Миколаївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Запитання 1. Валерію Геннадійовичу, маю до Вас таке запитання. У практиці ін'єкційних робіт відомо багато видів смол, епоксидні, фенольні, карбамідні та інші, а також цементні розчини. Чому саме поліуретанову смолу Ви прийняли для зміцнення приконтурного масиву у ваших умовах? Дайте наукове пояснення, будь ласка.

Запитання 2. Шановний Валерію Геннадійовичу, у мене запитання стосовно економічної ефективності ін'єкційного зміцнення масиву поліуретановими смолами. Відомо, що це дорогий вид запобіжного способу уникнення вивалоутворення. За рахунок чого отримано економічний ефект і як ми бачимо на виїмковий стовп – це суттєві кошти.

Яковенко В.Г. відповідь на запитання:

1. Дякую за важливе запитання. Вибір у дисертаційному дослідженні саме поліуретанових смол для зміцнення приконтурного масиву в наших досліджуваних умовах обґрунтований їх поєднанням фізико-механічних властивостей, що найбільш повно відповідають специфічним гірничо-геологічним умовам часто водонасиченого тріщинуватого масиву у динамічних умовах ведення гірничих робіт.

По-перше, на відміну від епоксидних та цементних складів, поліуретани є гідроактивними: вони не тільки не втрачають своїх властивостей у присутності

води, а й використовують її як каталізатор реакції, забезпечуючи одночасно ефективне зміцнення та гідроізоляцію.

По-друге, швидке спінювання та затвердіння (від десятків секунд до кількох хвилин) забезпечує швидкий набір міцності, що є важливим для якомога швидкого скріплення тріщинуватого масиву, що дозволяє уникнути відшарування тріщинуватих порід та безпосередньо вивалів.

По-третє, основною перевагою є те, що затверділий поліуретановий композит має пружно-пластичні властивості. На відміну від крихких цементних або карбамідних матеріалів, він здатний спільно деформуватися з масивом без втрати несучої здатності, що дозволяє ефективно поглинати динамічні навантаження при перерозподілі напружень навколо виробки.

Саме ця комбінація гідроактивності, швидкості реакції та еластичності композитного матеріалу робить поліуретанові смоли найбільш технологічним та ефективним рішенням для наших складних гірничо-геологічних умов.

2. Дякую за запитання. По-перше, ми не закріплюємо приконтурний масив уздовж всієї виїмкової виробки, а застосовуємо диференційний підхід, а саме, закріплюємо ті ділянки виробки, де розкриті прохідницьким вибоєм геологічні порушення, і де індекс геологічної міцності масиву GSI рівний або менше виявленого нами порогового значення 35.

По-друге, безпосередньо економічний ефект отримано за рахунок уникнення витрат на дороговартісне перекріплення гірничих виробок, металеве кріплення яких зазнає суттєвих руйнувань при вивалоутвореннях. В наших умовах площа перерізу виїмкових виробок складає 20,3 м², а вартість перекріплення 1 погонного метру виробки сягає 3,5 тисяч доларів. Також ефект досягається за рахунок уникнення зменшення навантаження на очисний вибій при аварійних ситуаціях, пов'язаних з вивалами порід на сполученнях «лава – штрек». Втрати навантаження можуть сягати 20 – 30% від запланованого бізнес-планом навантаження в 4000 т/добу. Вартість 1 т коксівного вугілля складає близько 260 доларів за тонну. Отже, за рахунок уникнення вивалів при ін'єкційному закріпленні ми не втрачаємо навантаження на очисний вибій. Це основні фактори, що впливають на економічну ефективність. В умовах нашого вугледобувного підприємства цей спосіб зміцнення є дуже економічно доцільним.

Рецензенти:

Саїк Павло Богданович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Відгук на дисертацію позитивний. Дискусійні положення та зауваження по роботі:

1. У дисертаційній роботі виявлено низку неточностей, одруківок та моментів, що потребують коригування, а саме:

- спостерігається неузгодженість у використанні одиниць виміру (см та м, Па та МПа), що потребує уніфікації;

- висновки 2 – 5 за Розділом 2 є надмірно деталізованими та містять значну кількість описових елементів, тому їх доцільно було б скоротити та структурно узагальнити. Необхідно було б зробити акцент на ключових положеннях: сутності розроблених методик, їх науковій новизні та прикладному значенні, без дублювання проміжних пояснень. Такий підхід забезпечує логічну завершеність розділу та дозволяє зосередити увагу на головних результатах дослідження;

- на рис. 3.4 (с. 117) доцільно було б вказати елементи легенди, що підвищить його інформативність;

- під час відображення економічного ефекту доцільно використовувати укрупнені показники у тис. або млн грн, що забезпечує зручність інтерпретації даних та дозволяє уникнути надмірної деталізації.

2. У підрозділі 1.4, присвяченому аналізу досліджень щодо способів підвищення стійкості приконтурного масиву виїмкових виробок, здобувачем проведено ґрунтовний огляд напрацювань вітчизняних дослідників. Водночас огляд має обмежений характер у частині врахування міжнародного досвіду. Доцільно розширити літературний аналіз за рахунок праць іноземних авторів, що дало б змогу більш комплексно відобразити сучасний стан проблеми та узгодити отримані результати з глобальними тенденціями щодо підвищення стійкості приконтурного масиву виїмкових виробок.

3. У п. 1 та п. 3, присвячених науковій новизні роботи, доцільно було б розкрити, яким чином врахування встановлених залежностей зміни фізико-механічних властивостей композитного матеріалу та отриманих кількісно-якісних геомеханічних показників впливає на формування раціональних параметрів технології ін'єкційного зміцнення приконтурного масиву.

4. Здобувачем зазначено, що перед проведенням досліджень усі варіанти фракцій порід були досліджені у сухому стані, але у натурних умовах гірський масив характеризується наявністю природної вологи, яка суттєво впливає на його фізико-механічні властивості. Доцільно врахувати цей фактор або обґрунтувати можливість екстраполяції результатів, отриманих у сухому стані.

5. У роботі здобувач зазначає, що ширина зони зміцнення приконтурного масиву прийнята у дослідженні на рівні 2,5; 3,5 та 4,5 м. Проте недостатньо

зрозумілим залишається обґрунтування саме такого діапазону значень. Необхідно пояснити, чому вибрано саме ці параметри: чи вони відповідають нормативним рекомендаціям, технічним можливостям ін'єкційного закріплення або базуються на результатах попередніх досліджень.

6. Здобувачем досліджено фізико-механічні властивості композитного матеріалу (порода + смола) у лабораторних умовах, а також виконано шахтні дослідження з відбором кернового матеріалу. Водночас у роботі не достатньо розкрито взаємозв'язок між отриманими лабораторними даними та результатами натурних досліджень.

7. Здобувачем наведено результати досліджень для традиційної технології кріплення сполучення «лава – штрек» у зоні впливу геологічного порушення (рис. 3.21), а також для варіанта із застосуванням попереднього ін'єкційного зміцнення на ширину 3,5 м (рис. 3.22). Разом із тим доцільно представити отримані результати у вигляді узагальнених залежностей, що дозволило б наочно порівняти ефективність різних технологічних рішень. Крім того, варто відобразити результати досліджень для варіантів із шириною зони зміцнення 2,5 та 4,5 м, які були раніше розглянуті здобувачем, з метою забезпечення повноти аналізу та можливості вибору оптимальних параметрів ін'єкційного закріплення приконтурного масиву.

Наведені зауваження та виявлені недоліки не зменшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи й не впливають на рівень її наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів.

Запитання 1. Валерію Геннадійовичу, сформулюйте будь ласка, основні Ваші наукові результати, тобто безпосередньо за що Ви претендуєте на здобуття наукового ступеня доктора філософії?

Запитання 2. Дайте поняття, що таке індекс геологічної міцності масиву GSI та як Ви методично його визначали?

Запитання 3. Пане Валерію, дякую за змістовну доповідь. В мене таке запитання до Вас, – які параметри ін'єкційного закріплення Ви обґрунтували у своїй роботі, чітко перелічіть їх, будь ласка. Також, у чому полягає удосконалення методики розрахунку цих параметрів?

Яковенко В.Г. відповідь на зауваження:

Із зауваженням 1 і 2 згоден!

3. Ми дослідили залежності фізико-механічних властивостей і шляхом оптимізації отриманих результатів запропонували раціональні параметри технології зміцнення приконтурного масиву.

4. Павле Богдановичу, це влучне зауваження. Присутність води в тріщинуватих породах має суттєве значення, але в тих гірничо-геологічних умовах, де виконувалися дослідження, вода була відсутня. При значному обводненні тріщинуватих порід треба було б застосовувати іншу поліуретанову смолу або їхню суміш.

5. Зони зміцнення масиву, їхня ширина, яка становить 2,5; 3,5 та 4,5 м, були визначені попередніми дослідженнями і встановлені за допомогою відбору кернів та їх вивчення.

6. Із зауваженням згоден!

7. Дякую за дискусійне запитання. Дійсно, представлення результатів у формі узагальненого графіку могло б підсилити наочність порівняння різних технологічних рішень. Проте наведені епюри переміщень містять інформацію щодо величин зміщень по контуру виробки й у тексті дисертації після рис. 3.22 і 3.23 подано інформацію щодо їх кількісних значень зміщень, що також дозволяє порівняти варіанти.

Щодо варіантів ширини ін'єкційного укріплення 2,5 м та 4,5 м, хочу зазначити, що ці сценарії були попередньо детально досліджені на етапі проведення виїмкового штреку. За результатами аналізу встановлено, що ширина 3,5 м є геомеханічно оптимальною, забезпечує безпечне проходження зони порушення та формування стійкого штучного контуру. Саме тому на стадії очисних робіт, у зоні сполучення «лава – штрек», подальше порівняння ширин 2,5 і 4,5 м не має практичного та наукового сенсу, так як ці параметри на цьому етапі вже не є змінними, а вибір оптимального рішення обґрунтовано раніше. Таким чином, вибір ширини 3,5 м є науково обґрунтованим та підтвердженим попередніми дослідженнями.

Яковенко В.Г. відповідь на запитання:

1. Дякую Вам за дійсно коректне й важливе запитання. Хотів би звернути вашу увагу на слайд 5. На слайді можете бачити сформульовану наукову новизну отриманих нами результатів. Я би виділив найважливіші:

- встановлено залежності зміни низки фізико-механічних властивостей композитного матеріалу з різними співвідношеннями жорсткого породного скелету та полімерної матриці з поліуретанової смоли;

- встановлено порогове значення $GSI = 35$, за якого необхідно термінове застосування ін'єкційного зміцнення масиву поліуретановою смолою;

- виявлено експоненційний кореляційний зв'язок ступеня тріщинної та міжфракційної пустотності для різних літотипів (алевроліт, пісковик) з індексом його геологічної міцності (GSI) масиву в зонах впливу дрібноамплітудних

геологічних порушень для умов розробки запасів шахтного поля ПрАТ ШУ «Покровське»;

– встановлено поліноміальні залежності зміни зміщень покрівлі та боків виїмкового штреку в залежності від ширини зміцнення приконтурної зони поліуретановою смолою.

2. Індекс геологічної міцності (GSI) – це система класифікації, призначена для кількісної оцінки якості тріщинуватих скельних масивів, що дозволяє охарактеризувати їхню структурну цілісність та міцність єдиним числовим показником. Цей індекс є основним вхідним параметром для сучасних геомеханічних розрахунків, зокрема за критерієм міцності Хоека-Брауна.

Методично його визначення ґрунтується на візуальному аналізі двох основних характеристик масиву за допомогою спеціалізованої діаграми, розробленою Хоеком саме для вугільних родовищ.

Перша характеристика – це структура масиву, яка оцінюється за ступенем його роздрібненості на блоки (від масивної та блокуватої до інтенсивно деформованої та хаотичної). У ході нашої роботи ми вивчали структуру кернів, аналізуючи їх кускуватість та блочність, і на основі цього відносили масив до однієї зі структурних категорій на вертикальній осі діаграми.

Друга характеристика – це якість поверхонь розривів (тріщин), що оцінюється за їх шорсткістю, ступенем вивітрювання та наявністю заповнювача (наприклад, глинистого матеріалу). Ми аналізували поверхні тріщин у відібраних кернях і відносили їх до відповідної категорії на горизонтальній осі (від «дуже хорошої» до «дуже поганої»). Кінцеве значення GSI визначається на перетині обраної структурної категорії та відповідної колонки якості поверхонь, що дозволяє отримати числову оцінку, яка, так би мовити, об'єднує в собі основні фактори, що визначають більш реальні міцнісні та деформаційні характеристики гірського масиву.

3. Дякую за уважне запитання. Удосконалена методика розрахунку параметрів полягає в уточненні сукупної тріщинної пустотності масиву та ширини зони закріплення приконтурного масиву, що дозволяє розрахувати перелічені вище параметри ін'єкційних робіт.

Безпосередньо обґрунтовані наступні параметри ін'єкційного закріплення: довжина нагнітального шпура, теоретичний радіус розповсюдження смоли в масиві, відстань між рядами нагнітальними шпурами, довжина ділянки закріплення масиву, витрати поліуретанової смоли на нагнітальний шпур.

Як ви можете бачити на слайді 18 ми провели шахтний натурний експеримент із закріплення приконтурного масиву. У штреку в зоні впливу геологічних

порушень 2-го північного конвеєрного штреку блоку №11 збіжність теоретичних та фактичних результатів, а саме витрати смоли на нагнітальний шпур у середньому склала 88%, а розбіжність пояснюється неоднорідністю тріщинуватості масиву в зоні впливу геологічних порушень.

Руських Владислав Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Відгук на дисертацію позитивний. Дискусійні положення та зауваження по роботі:

1. Результати натурних випробувань наведено на прикладі однієї виробки блоку №11. За відсутності серії повторних експериментів, вибіркового аналізу або статистичної перевірки узагальнення висновків на всі виробки з аналогічними умовами може бути передчасним. Механізм проникнення смоли, характер тріщинуватості та параметри порушень суттєво варіюють навіть у межах одного блоку. Для підтвердження наукової та практичної універсальності результатів бажано розширити базу спостережень.

2. Лабораторні дослідження моделюють заповнення міжфракційного простору смолою, проте не враховують масштабних ефектів, неоднорідності масиву, різного ступеня звивистості тріщин та нерівномірності заповнення, характерних для натурних умов. Крім того, не наведено похибок вимірювань і статистичної обробки результатів. У зв'язку з цим перенос лабораторних характеристик композиту на масив у повному масштабі може викликати наукові питання щодо достовірності оцінок фізико-механічних параметрів.

3. Оцінка економічного ефекту у 64,2 млн грн подана без деталізованої структури витрат, методики розрахунку, дисконтування, аналізу чутливості та ймовірнісних сценаріїв. За відсутності цих вихідних даних складно перевірити обґрунтованість наведених цифр. Крім того, не враховано витрати на буріння, нагнітання, можливі технологічні відмови, особливості закупівлі смоли. Таким чином, економічні висновки слід вважати попередніми, а не остаточними.

4. Автор розглядає поліуретанову смолу як універсально ефективний матеріал. Проте світові дослідження показують значне зниження ефективності поліуретанів у водонасичених масивах при низьких температурах або в дрібнокапілярних середовищах, де проникнення смоли є мінімальним. У тексті відсутній аналіз умов застосування матеріалу та його потенційних обмежень, що необхідно врахувати для підвищення наукової повноти викладу.

5. Термін «породний скелет» не належить до усталених у гірничій геомеханіці; більш коректним є використання формулювання «структурний

каркас породи».

Зазначені зауваження і дискусійні моменти не знижують наукового рівня і загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи. Результати роботи є новими та оригінальними.

Запитання 1. Дякую за доповідь, пане Валерію. В мене таке запитання, – скажіть, будь ласка, чому Ви у своїй роботі розглядаєте саме попереднє ін'єкційне закріплення приконтурного масиву? Чому таке трактування у назві дисертаційної роботи?

Запитання 2. Валерію Геннадійовичу, маю таке до Вас запитання. Дайте пояснення та обґрунтування, чому у роботі Ви прийняли критерій міцності Хоека-Брауна, а, наприклад, не інші, не менш відомі та застосовувані критерії, наприклад Мора-Кулона?

Яковенко В.Г. відповідь на зауваження:

1. Дякую Вам, Владиславе Васильовичу, за зауваження. Маю погодитися з тим, що розширення бази практичних досліджень, тобто збільшення дослідницьких ділянок покращить узагальнені результати, але результати, отримані в дисертаційній роботі, є достатніми і достовірними.

2. Хочу зазначити, Владиславе Васильовичу, що масштабний коефіцієнт хоч і не враховувався при вивченні заповнення тріщин в лабораторних умовах і на практиці, але достовірно відомо, що в масиві гірських порід умови, з точки зору міцності, кращі, і тому, якщо результати в лабораторних умовах позитивні, то на практиці вони будуть ще кращі, тобто це як запас міцності.

3. Економічна ефективність розрахована відповідно до методики, яка на шахті і затверджена компанією «Метінвест». І я, як директор свого підприємства, користувався нею і в інших випадках та неодноразово захищав результати на вищих рівнях компанії.

4. По-перше, в умовах, яких виконувались дослідження і впроваджувались технології у виробництво, на глибинах понад 1000 м це питання не актуальне через відсутність води. По-друге, навіть якби і була обводненість масиву, то за останні 10 років розроблено нові компоненти поліуретанових смол, що твердіють навіть у воді.

5. Із зауваженням згоден!

Яковенко В.Г. відповідь на запитання:

1. Дякую за запитання. Справа у тому, що першочерговим та основним завданням вугледобувного підприємства є безпосередньо видобуток кам'яного вугілля. На нашому підприємстві ми маємо більшість проблем, коли фронт очисного вибою входить у зону впливу геологічного порушення з частим вивалоутворенням

саме при веденні очисних робіт, а саме на сполученнях «лава-штрек». Наслідком цього є загроза травмування робітників й аварійні зупинки видобувних робіт. Тому у роботі досліджувалось саме завчасне, попереднє ін'єкційне закріплення приконтурного масиву у зоні впливу геологічних порушень ще на стадії проведення виїмкового штреку, щоб створити над виробкою армопородну, штучно зміцнену балку і сприятливі геомеханічні умови, коли у майбутньому у цю розкриту та вже зміцнену зону масиву підійде фронт очисних робіт.

2. Дякую за запитання та вашу увагу. Ми обрали критерій міцності Хоека-Брауна, оскільки він був розроблений вченими Хоеком та Брауном спеціально для досліджень геомеханічних процесів з тріщинуватими породами, якими є пісковики та алевроліти в умовах нашого шахтоуправління «Покровське» й головне, що критерій напряду використовує досліджуваний нами індекс геологічної міцності масиву GSI. Це дозволяє більш точно відтворити механічні властивості масиву з врахуванням так званого масштабного ефекту й уникнути додаткових, менш надійних перерахунків у параметри інших критеріїв, таких як зчеплення та кут внутрішнього тертя для моделі Мора-Кулона, що мінімізує потенційні помилки.

Крім того, цей критерій більш реалістично описує фактичну поведінку та руйнування саме тріщинуватого масиву у порівнянні з лінійними моделями, якою є Мора-Кулона та є досить розповсюдженим у закордонній практиці геомеханічних розрахунків.

Опоненти:

Курносів Сергій Анатолійович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Відгук на дисертацію позитивний. Дискусійні положення та зауваження по роботі:

1. Смола має більшу межу міцності на стиск (>80 МПа) ніж досліджені алевроліти (від 13 до 50 МПа) та пісковики (від 16 до 75 МПа). В роботі не пояснюється чому міцність на стиск композиту зменшується зі збільшенням частки смоли.

2. Якщо індекс геологічної міцності масиву (GSI) в зоні зміщувача дорівнює 20, що відповідає майже сипучому середовищу, то, заради уникнення вивалу порід, мабуть слід зміцнювати масив смолою з випередженням прохідницького вибою (через похилі шпури).

3. Відстань між рядами нагнітальних шпурів (стор. 150) дорівнює двом ефективним радіусам розтікання смоли, тобто зони обробленого масиву не

пересікаються. Це може призвести до залишення в масиві ослаблених зон.

4. В методиці визначення параметрів зміцнення масиву (п. 4.1) не вказано яким чином розраховувати тиск нагнітання смоли. В подальшому він був прийнятий 6 МПа без обґрунтування.

5. В поперечному перерізі схеми розташування нагнітальних шпурів (рис. 4.2) відстань між устями шпурів дорівнює 2 м, тобто двом ефективним радіусам розтікання смоли, однак відстань між вибоями шпурів значно більша. Це може призвести до залишення зон, незакріплених смолою.

Зазначені зауваження та недоліки не знижують позитивну оцінку роботи, не впливають на ступінь наукової новизни та практичної значущості отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Запитання 1. Валерію Геннадійовичу, дякую за доповідь. Я не бачу у Вашій презентації структурно-логічної схеми. Наведіть алгоритм та структурну будову Ваших досліджень і поясніть, будь ласка.

Запитання 2. Валерію Геннадійовичу, маю таке до вас запитання. Я почув у доповіді, що в лабораторних дослідженнях Ви дослідили певні властивості прямими методами, а інші властивості – аналітичним способом. Дайте детальне пояснення такого підходу і як Ви це робили?

Яковенко В.Г. відповідь на зауваження:

1. Дякую за дискусійне зауваження. Міцність поліуретанової смоли понад 80 МПа характеризує її поведінку у вигляді монолітного полімеру, тобто цілісного матеріалу без включень, пор та меж поділу фаз. У складі композиту смола не утворює моноліту, а виконує роль заповнювача міжзернового простору, який взаємодіє з мінеральними частками через численні контактні поверхні. Саме ці поверхні «смола – порода» та неоднорідний, частково переривчастий мінеральний каркас формують реальний механізм сприйняття навантаження.

Руйнування композиту в умовах стиску відбувається переважно не через полімерну складову, а по слабших міжфазних контактах та в ослаблених ділянках зернистої структури, що не можуть забезпечити таку ж несучу здатність, як монолітний полімер.

2. Дякую за зауваження. У роботі ми виходимо з того, що найбільш інтенсивні вивали та зміщення контуру виробки в зоні геологічного порушення зазвичай проявляються вже після перетину площини порушення прохідницьким вибоєм, що створює технологічне вікно для оперативної оцінки фактичного стану масиву та прийняття рішення щодо ін'єкційного зміцнення небезпечної ділянки. Рекомендація щодо випереджального буріння похилих шпурів також є цінною,

проте її ефективне застосування можливе лише за умов наявності достовірної прогнозованої інформації про параметри порушення попереду вибою, що на практиці не завжди вдається забезпечити.

3. Це не зовсім так. Зони пересікаються і забезпечується відповідна міцність і стійкість порід покрівлі за рахунок розповсюдження мікротріщинуватості навколо шпурів.

4. Тиск нагнітання смоли вибраний з урахуванням двох параметрів: по-перше, забезпечення розтікання смоли як можна далі по тріщинах, а, по-друге, тиск вище критичного може руйнувати масив по тріщинах. Саме тиск 6 МПа задовольняє обом вимогам.

5. Дякую за цікаве зауваження. Справа в тому, що масив у зонах геологічних порушень має підвищену тріщинуватість, до того ж під час буріння виникають додаткові тріщини, і разом ці два фактори забезпечують створення ефективного радіусу розтікання смоли.

Яковенко В.Г. відповідь на запитання:

1. Дякую за слушне зауваження. Проте хотів би надати пояснення. Спочатку ми виконали аналіз стану вугільної промисловості з акцентом на видобуток коксівного вугілля і вивчили детально гірничо-геологічні умови та існуючі проблеми вивалів при веденні підготовчих та очисних робіт. Це дало нам змогу вивчити основні напрями підвищення способів зміцнення масиву. Ми провели критичний аналіз способів зміцнення та сформулювали невирішену наукову задачу. Ми вивчили фракційний склад порід фактичних вивалів з виїмкових штреків і довели доцільність саме ін'єкційного зміцнення полімерними смолами. Далі ми розробили методику лабораторних і чисельних досліджень, а також шахтного натурного експерименту. Проведені дослідження дозволили нам закласти властивості композитного матеріалу в чисельну модель. Проведені дослідження дозволили нам отримати та виявити нові залежності, які лягли в основу наукового обґрунтування параметрів ін'єкційних робіт. Далі ми провели шахтний експеримент, зіставили результати розрахунків параметрів з отриманими фактичними і далі розраховували економічну ефективність. Ще раз дякую за зауваження та запитання.

2. Дякую за важливе запитання. Застосований комплексний підхід полягає у двоетапному аналітичному визначенні властивостей зміцненого масиву.

На першому етапі – для характеристики початкового, природного масиву, його параметри міцності ($P_{пор}$) визначаються за допомогою програми RocLab. Для цього в програму вводяться дані, а саме індекс геологічної міцності (GSI) відповідно до пустотності масиву, міцність на стискання, модуль пружності.

Програма RocLab розраховує еквівалентні властивості масиву відповідно за критерієм Мора-Кулона.

На другому етапі – для прогнозування властивостей безпосередньо кінцевого композитного матеріалу «порода – смола» застосовується модель Фойгта (правило сумішей). Основним моментом є те, що розраховані в RocLab властивості початкової породи ($P_{\text{пор}}$) використовуються як один з основних вхідних параметрів у формулі Фойгта. Разом із властивостями чистої смоли ($P_{\text{см}}$) та їх об'ємними частками, що визначаються пустотністю масиву, цей метод дозволяє отримати просто, але обґрунтовано прогноз кінцевих механічних характеристик зміцненої смолою породи.

Гайко Геннадій Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної геотехнології та гірничих споруд Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Відгук на дисертацію позитивний. По змісту дисертаційної роботи є наступні зауваження.

1. В роботі не наведена структурно-логічна схема проведення досліджень. Бажано було б надати алгоритм і структурну будову кожного з етапів досліджень.

2. Доцільним було б вирішити плоску задачу зміни НДС за довжиною виїмкового стовпа, який перетинає конкретне геологічне порушення, з наступним виявленням ослаблених зон виїмкових виробок.

3. На сьогодні відома значна кількість видів смол, що застосовуються у практиці ведення ін'єкційних робіт, зокрема, епоксидні, фенольні, карбамідні тощо, а також цементні розчини. У роботі недостатньо чітко обґрунтовано вибір саме поліуретанових смол для зміцнення приконтурного масиву в умовах вугільного підприємства ПрАТ «ШУ «Покровське», серед іншого – дані щодо токсичності цих смол дещо різняться на стор. 45 та 66 дисертації.

4. З роботи незрозуміло, чому для оцінки стану масиву обрано саме два критерії міцності Хоека-Брауна та Мора-Кулона і чим обумовлений вибір кожного з них у дисертаційному дослідженні?

5. Детальний аналіз складу та структури кернів в умовах ПрАТ «ШУ «Покровське» дозволив визначити тріщинну пустотність масиву (об'єм пор і тріщин), яка в алевролітах і пісковиках може сягати до 5% (розділ 2.3 дисертації). Визначено, що в залежності від індексу геологічної міцності масиву GSI сукупна пустотність може сягати в алевролітах до 18% (рис. 3.4, розділ 3.2 дисертації). Проте для виготовлення зразків породно-поліуретанової композиту для випробувань серед інших приймалася пустотність 42-45% (рис. 2.9, розділ 2.2 дисертації). Не зрозуміло, чим зумовлена така висока пустотність порід при

виготовлені композитних зразків?

6. Результати визначення мінімально необхідної глибини зони ін'єктування при зміцненні масиву порід, отримані на основі поліноміальних залежностей з використанням чисельного моделювання (розділ 4.1 дисертації), доцільно було б підтверджувати інструментальними дослідженнями тріщинуватості масиву (приміром за допомогою відеокамеральної інтроскопії гірських порід), що б збільшило надійність прийняття рішень.

Зазначені зауваження та недоліки не знижують позитивну оцінку роботи, не впливають на ступінь наукової новизни та практичної значущості отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Запитання 1. Валерію Геннадійовичу, скажіть будь ласка, чи враховували Ви у Ваших дослідженнях вплив глибини розробки при виконанні чисельного моделювання стану приконтурного масиву?

Запитання 2. Валерію Геннадійовичу, сформулюйте будь ласка, наукову задачу, чітко та конкретно, яку Ви вирішуєте у вашому дисертаційному дослідженні.

Запитання 3. У мене до Вас таке запитання, – скажіть, будь ласка, у чому полягає сутність комбінованого підходу в чисельному моделюванні геомеханічних процесів навколо штреку, як Ви вказали в практичному значенні роботи, і дайте, будь ласка, пояснення.

Яковенко В.Г. відповідь на зауваження:

1. Дякую за змістовне зауваження. Цілком погоджуюсь, дійсно конкретна структурно-логічна схема у роботі не представлена. Проте, змістовна та логічна побудова змісту дисертаційного дослідження дозволяє це чітко прослідкувати: аналіз наукових праць та виявлення раніше недослідженої області щодо застосування ін'єкційного закріплення полімерними смолами, розробка методики лабораторних, чисельних та шахтних досліджень, отримання закономірностей та наукових результатів, формування методики розрахунку параметрів з доведенням суттєвого економічного ефекту.

2. Дякую за слушне зауваження. Погоджуюсь з рецензентом, проте хотів би надати коментар. Чисельне моделювання виконували у поперечному перерізі, оскільки саме він дає змогу коректно зафіксувати основні для аналізу параметри, а саме величини зміщення та деформації боків виїмкового штреку. Поздовжній розріз за довжиною виїмкового стовпа у цьому випадку є менш інформативним й не відображає зміщення боків виробки, хоча дозволяє при адекватному моделюванні довести крок запізнення з вивалами порід по мірі просування

прохідницького вибою. Я обов'язково врахую це у своїх подальших дослідженнях. Дякую ще раз за рекомендацію.

3. Слід зазначити, що поліуретанові смоли вибрані зі світового досвіду їх застосування, ще з 80-х років минулого століття, саме на вугільних шахтах Німеччини. Поліуретанові смоли, які застосовуються під землею у вугільних шахтах відповідають нормам санітарних вимог в повному обсязі. Крім того поліуретанові смоли є пожежонебезпечними.

4. Дякую за дискусійне запитання. Для природного, тріщинуватого приконтурного масиву цілком обґрунтовано використовується критерій Хоека-Брауна, оскільки він найкраще враховує структурну деградацію порід через індекс GSI. Однак, після ін'єкційного нагнітання смоли, зміцнена зона масиву перестає бути просто тріщинуватою породою і перетворюється на композитний матеріал, тобто систему «порода – полімер». Механічні властивості цього нового композитного матеріалу найдоцільніше описувати через класичні параметри: зчеплення, яке створюється за рахунок полімерних зв'язок та кут внутрішнього тертя. Для цих параметрів ідеально підходить критерій Мора-Кулона. Таким чином, комбінований підхід дозволяє максимально реалістично змодельовати систему: складну, нелінійну поведінку як природного тріщинуватого масиву (критерій Хоека-Брауна) так і штучно створеного композитного матеріалу (критерій Мора-Кулона).

5. При виготовленні композитних зразків враховувався масштабний коефіцієнт, і тому була прийнята відповідна пустотність.

6. Частково згоден з Вашим зауваженням, але слід зазначити, що були виконані широкомасштабні промислові дослідження за допомогою відбору кернів, їх вивчення та підтвердження надійності прийнятих рішень.

Яковенко В.Г відповідь на запитання:

1. Дякую за запитання. Аспекти, що ви піднімаєте, дійсно є важливими та впливають на величини зміщень контурів виїмкових виробок. Однак на нашому підприємстві гірничі роботи ведуть переважно в інтервалі глибин 800-1000 м. У дослідженнях приймалась глибина 950 м. Результати, які ми отримали у ході чисельного моделювання, є сьогодні для нас достатніми з практичної точки зору. Ні, безпосередньо варіювання значень глибини розробки не здійснювалось. Однак я обов'язково врахую це і вивчу в своїх подальших дослідженнях.

2. Закордонний та вітчизняний аналіз показав, що сьогодні недостатньо вивченим залишається питання попереднього ін'єкційного зміцнення масиву ще на стадії проведення підготовчих виробок, які у подальшому зазнають додаткового навантаження від очисних робіт, особливо в зонах впливу геологічних порушень,

де характерна наявність зон ослаблених та тріщинуватих порід. Існуючі рекомендації переважно базуються на досвіді зміцнення масиву, що вже перебуває під впливом фронту лави, і є недостатніми для оптимізації параметрів ін'єктування на етапі проходки з метою завчасного створення штучної укріпленої балки. Крім того, не в повній мірі вивчена еволюція НДС закріпленого поліуретановими смолами приконтурного масиву на основних етапах функціонування виїмкової виробки.

Отже, вирішувана актуальна наукова задача формулюється наступним чином: *Обґрунтування раціональних параметрів ін'єкційного закріплення порід приконтурного масиву на основі дослідження геомеханічного стану масиву у зоні впливу геологічних порушень з урахуванням його структури та геологічного індексу міцності й трансформації фізико-механічних властивостей порід, зміцнених поліуретановими смолами.*

3. Дякую за важливе практичне запитання, щодо методології моделювання. Для природного, тріщинуватого приконтурного масиву цілком обґрунтовано використовується критерій Хоека-Брауна, оскільки він найкраще враховує структурну деградацію порід через індекс GSI. Однак після ін'єкційного нагнітання смоли, зміцнена зона масиву перестає бути просто тріщинуватою породою і перетворюється на композитний матеріал, тобто систему «порода – полімер».

Механічні властивості цього нового композитного матеріалу найдоцільніше описувати через класичні параметри: зчеплення, яке створюється за рахунок полімерних зв'язок та кут внутрішнього тертя. Для цих параметрів ідеально підходить критерій Мора-Кулона. Таким чином, комбінований підхід дозволяє максимально реалістично змоделювати систему: складну, нелінійну поведінку як природного тріщинуватого масиву (критерій Хоека-Брауна), так і штучно створеного композитного матеріалу (критерій Мора-Кулона).

Результати відкритого голосування:

«За» – 5 членів ради,

«Проти» – немає.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує ЯКОВЕНКУ Валерію Геннадійовичу ступінь доктора філософії з галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю 184 «Гірництво».

Голова разової
спеціалізованої вченої ради



Аліна ЗАГРИЦЕНКО