

## Список літератури

1. Харевська В.В. Теоретично-методичні засади щодо встановлення меж земельних ділянок на які розповсюджується право земельного сервітуту / В.В. Харевська, В.Д. Сидоренко, А.Ю. Паламар // Розвиток промисловості та суспільства: міжнар. наук.-техн. конф., 23–25 трав. 2018 р. : тези доп. – Кривий Ріг. – 2018. – С. 70-71
2. Земельний кодекс України №2768-III від 25 жовтня 2001 року [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
3. Цивільний кодекс України / Верховна Рада України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/435-15>.
4. Кулинич П. Право земельного сервітуту: поняття, види та порядок реалізації / П. Кулинич // Юридичний журнал. – 2003. – № 10. – С. 64-68.
5. Про державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 № 3613– VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2012. – № 8. – Ст. 61.
6. Про землеустрій: Закон України від 22.05.2003 № 858-IV // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2003. – № 36. – Ст. 282.
7. Про оренду землі: Закон України від 06.10.1998 № 161-XIV // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1998. – № 46-47. – Ст. 280.
8. Закон України «Про Державний земельний кадастр» / Верховна Рада України. Поточна редакція від 04.06.2017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру» від 17 жовтня 2012 року № 1051 / Кабінет Міністрів України. Поточна редакція від 29.08.2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF>.
10. Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів від 18.05.2010 року №376 «Про затвердження Інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками» / Державний комітет України із земельних ресурсів. Поточна редакція від 23.08.2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0391-10>.
11. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000 ,1:2000 , 1:1000 , 1:500. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.
12. Бондарчук Н. Поняття й особливості земельного сервітуту за законодавством України / Н.В. Бондарчук // Порівняльно-аналітичне право. – 2017. – № 1. – С. 116-118.
13. Земельне право України : підручник / [Г.В. Анісімова, Н.О. Багай, А.П. Гетьман та ін.]; За ред. М.В. Шулги. – К. : Юрінком Інтер, 2004. – 368 с.
14. Непийвода Василь. Правове регулювання в галузі лісів: Доба утвердження підтриманого розвитку / Василь Непийвода. – К. : НДІ приватного права і підприємництва, 2004. – 339 с.
15. Finland. The Country of Forest / Finish Forestry Accotiation. – Helsinki : 1996. – 20 p.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018

УДК 622.27

В.О. КОЛОСОВ, З.Р. МАЛАНЧУК, доктори техн.наук,  
С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд.техн.наук, доц., К.М. КОВБИК, асистент  
Криворізький національний університет

### МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГІРСЬКОГО МАСИВУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ НА СТАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ

**Мета.** Метою даної роботи є встановлення закономірностей кількісного складу еквівалентного матеріалу при моделюванні фізичних процесів в лабораторних умовах на статичних моделях, які протікають в гірському масиві.

**Методи дослідження.** Для визначення якісного складу еквівалентного матеріалу існує багато методик, однак вони потребують удосконалення за рахунок визначення емпіричних формул, які дозволять значно скоротити час на підбір еквівалентного матеріалу. Слід враховувати, що геологічна характеристика порід Криворізького залізорудного басейну суттєво відрізняється на кожній шахті, тому шляхом статистичної обробки отриманих раніше необхідно їх систематизувати.

**Наукова новизна.** Встановлено, що на якісний склад еквівалентного матеріалу суттєво впливають кількісні показники суміші. Так зі збільшенням кількості парафіну з 1,6 до 2,4% межа міцності еквівалентного матеріалу збільшується з 400-600 до 1700-2400 кг/см<sup>2</sup>. Вперше встановлені залежності необхідної кількості чавуну в еквівалентному матеріалі від межі міцності еквівалентного матеріалу та відсоткового співвідношення парафіну та коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі та відсоткового співвідношення парафіну.

**Практична значимість.** Отримані емпіричні залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу за допомогою яких встановлюються фізико-механічні властивості еквівалентного матеріалу дозволяють зменшити кількість дослідів, та час на його приготування.

**Результати.** В залежності від необхідних фізико-механічних властивостей еквівалентного матеріалу, згідно

отриманих емпіричних залежностей розраховуємо співвідношення чавуну до гранітної крихти. Так, при межі міцності еквівалентного матеріалу  $1000 \text{ кг/см}^2$  кількість чавуну в еквівалентному матеріалі повинна складати 4 або 16%, а гранітної крихти відповідно 40 або 18%, при цьому коефіцієнт Пуассону складатиме 0,2 та 0,3 відповідно.

**Ключові слова:** еквівалентний матеріал, критерій подоби, моделювання, піщано-парафінова суміш, об'єкт, руда.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-55-62

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Видобуток багатих залізних руд Криворізького залізорудного басейну здійснюється на глибинах нижче 1135 м [1]. З подальшим веденням гірничих робіт знижується річна продуктивність та погіршуються показники вилучення рудної маси [2, 3]. Аналіз проектно-технічної документації показав, що наслідком зниження показників вилучення є проникнення пустих порід у вироблений простір за рахунок порушення стійкості гірського масиву внаслідок зміни гірського тиску. Підвищити показники вилучення рудної маси можливо шляхом удосконалення технологічних процесів підземного виробництва. На теперішній час розроблено та впроваджено у виробництво значна кількість новітніх технологій, які дозволяють підвищити коефіцієнт вилучення на окремих ділянках родовища з 0,88 до 0,9-0,92. Однак, в 20% впровадження новітніх технологій не призводить до очікуваного економічного ефекту. Це пов'язано з тим, що при перевірці достовірності результатів дослідження в лабораторних умовах не враховуються фактори, що змінюють гірський тиск навколо процесу, який досліджується.

На даний час розроблено велика кількість методик і програмних комплексів, які дозволяють в лабораторних умовах створити копію залізорудного родовища Криворізького басейну. Однак, при їх використанні виникають складності при створенні динамічної моделі.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Згідно аналізу проектно-технічної документації встановлено, що поклади Криворізького залізорудного басейну є неоднорідними та представляють собою складноструктурне родовище [4]. В залежності від напрямку дослідження, для вивчення процесів які протікають в блоці або гірському масиві використовують лабораторне моделювання з застосуванням натуральних або еквівалентних матеріалів. При дослідженні стійкості гірського масиву дослідники застосовують моделювання з застосуванням еквівалентних матеріалів.

Основою моделювання є вибір теорії подібності, масштабу моделі, а також встановлення граничних умов об'єкта і моделі, при яких процеси будуть подібними до натуральних [5-8]. Для отримання інформації про явища, що відбуваються в досліджуваному об'єкті, штучному об'єкті (моделі), надають об'єктивну відповідність на окрему етапі дослідження. У класичному моделюванні зв'язує величиною для змінних досліджуваного об'єкта є масштаб моделювання. На підставі загального визначення властивостей подібних фізичних явищ можна охарактеризувати механічно подібні системи, у яких всі параметри, які характеризують механічні процеси, що відбуваються в одній системі, можуть бути отримані простим множенням відповідних параметрів іншої системи на постійні перехідні множники. При цьому параметри різної фізичної природи мають різні множники, але для однотипних параметрів цей множник (константа подібності) має одне незмінне значення.

Тому, фізико-механічні властивості моделі і природи при відповідному геометричному масштабі моделювання повинні володіти однаковими властивостями, які визначаються за виразами

$$[\sigma]_m = \gamma_m \cdot l_m \cdot [\sigma]_n \cdot M / (\gamma_n \cdot l_n), \quad E_m = \gamma_m \cdot l_m \cdot E_n \cdot M / (\gamma_n \cdot l_n), \quad (1)$$

де  $\gamma_m, \gamma_n$  – щільність матеріалів, відповідно моделі і природи;  $[\sigma]_m, [\sigma]_n$  – будь-яка характеристика міцності характеристика матеріалу моделі і природи;  $E_m$  і  $E_n$  – відповідна моделі характеристика матеріалу природи,  $M$  – масштаб моделювання.

Масштаб моделювання згідно другої теореми подоби, який дозволяє встановити можливість перетворення фізичного явища визначається за виразом [9-12]

$$l_n' / l_m' = l_n'' / l_m'' = \dots = l_n^i / l_m^i = M_l, \quad (2)$$

де  $l_n, l_m$  – лінійні розміри, відповідно в моделі і природі;  $M_l$  – деяке безрозмірне число, що є визначальним критерієм подібності.

Для моделювання проявів гірського тиску на моделях із еквівалентних матеріалів найбільш поширеним є метод дослідження, розроблений Г.Н.Кузнецовим [9]. Даний метод застосовують

для вирішення широкого кола питань, пов'язаних зі зрушенням порід і зміною напруженого стану в гірському масиві.

Співвідношення фізико-механічних властивостей, виготовлених зі штучних матеріалів, до аналогічних властивостей матеріалу природи з урахуванням геометричної подоби визначають із закону динамічної подоби Ньютона [9]

$$P_m / (\rho_m \cdot l_m^2 \cdot v_m^2) = P_n \cdot M / (\rho_n \cdot l_n^2 \cdot v_n^2) = idem, \quad (3)$$

де  $P_m, P_n$  – сили, відповідно діючі в моделі і природі;  $\rho_m, \rho_n$  – щільність матеріалів, відповідно моделі і природи;  $v_m, v_n$  – швидкості переміщення подібних точок, відповідно моделі і природи.

Як правило, при моделюванні механічних процесів, що відбуваються в гірському масиві при веденні гірничих робіт, необхідно враховувати наступні фізико-механічні характеристики еквівалентного матеріалу: міцність на стиск; розтяг; вигин; модуль пружності; зчеплення; пластичні і реологічні характеристики. При цьому слід враховувати, що кут внутрішнього тертя і коефіцієнт Пуассона за величиною повинні бути однаковими як в моделі, так і в природі [13, 14].

Подоба початкових умов досягається створенням в моделі копії геологічного розрізу порід в природі на всю глибину від поверхні землі до місця моделювання гірничих робіт із відтворенням в моделі шаруватості та різних геологічних порушень (розломів, тріщинуватості і т.п.), що досліджуються та враховувати технологію виготовлення моделі. У рішенні деяких задач допускається заміна верхніх шарів штучними силами (метод компенсує навантаження).

Тому, при лабораторному моделюванні використовують різні наповнювачі і зв'язуючі речовини, які складаються з: кварцового піску, меленої слюди, крейди, меленого граніту, парафіну, гіпсу, тальку, цементу і т.п. Вибір наповнювача і в'язучих речовин для еквівалентного матеріалу залежить в першу чергу від фізико-механічних властивостей досліджуваних гірських порід, а також від необхідних вихідних характеристик згідно з прийнятим масштабом моделювання. Після випробування різної комбінації речовин які входять до еквівалентного матеріалу, а також технології його виготовлення приймається остаточний склад. Для приготування необхідного складу еквівалентного матеріалу, потрібна значна кількість часу, матеріалів і трудовитрат.

Також є особливо важливим дотримання вимог граничних умов в моделі [15]. Однією з таких є те, що напружено-деформований стан на кордонах моделі відрізняється від напружено-деформованого стану на кордонах моделюємої ділянки природи, так як в останньому випадку є зв'язок із навколишнім масивом, а тому механічні процеси на кордонах моделі будуть дещо відрізнятися від процесів, що відбуваються в природі. Для дотримання граничних умов при вирішенні об'ємних завдань необхідно, щоб модельована ділянка родовища в моделі була дещо більшою у порівнянні з досліджуваним в природі.

При моделюванні процесу випуску обваленої руди дослідники застосовують натуральні матеріали зі зменшеними розмірами. При цьому масштаб моделювання визначається за формулою (2). Однак, окрім масштабу моделювання, впливають також різноманітні фактори.

Так, Куликов В.В. [12], більш широко дослідив процес випуску руди як теоретично так і на моделях та запропонував покласти в основу показник сипучості матеріалу. Малахов Г.М. [13] досліджував вплив практично всіх факторів, що впливають на показники випуску (формування еліпсоїдів випуску і розпушення та ін.). Однак подібність процесів при випуску в моделі і в природі досягається підбором матеріалу моделі. Імениті В.Р. [17] при розгляді фізичного моделювання з використанням сипких матеріалів, більш чітко вказав принцип підбору матеріалу моделі. Подальші дослідження авторів [16,17], підтверджують необхідність дотримання гранулометричного складу сипкого матеріалу.

Гранулометричний склад руди оцінювався за величиною середнього діаметру шматка, який визначався як середньозважена величина за формулою

$$d_{сеп} = \sum(d_i \times \gamma_{\phi}) / 100, \quad (4)$$

де  $d_{сеп}$  – середній діаметр фракції, мм;  $d_i$  – діаметр відповідної фракції, мм;  $\gamma_{\phi}$  – процентна кількість фракції, %.

Одним із найважливіших факторів при моделюванні є коефіцієнт розрихлення. На практиці коефіцієнт первинного розрихлення залежить від співвідношення розмірів очисного блоку та компенсаційного простору і складає від 1,2 до 1,4. За результатами виконаних раніше лабораторних досліджень [12] було встановлено, щоб забезпечити безперервний випуск матеріалу з

моделі коефіцієнт первинного розрихлення  $K_p$  повинен бути більше ніж 1,4, але зі збільшенням коефіцієнту первинного розрихлення більше ніж 1,6 змінюються параметри еліпсоїду розрихлення (об'єм, мала та більша піввісі) від методики запропонованої Малаховим Г.М. [13].

При випуску обваленої руди з блоку на обмежених моделях по висоті, необхідно встановити розмір зовнішнього навантаження від обвалених порід вищележачих горизонтів. Зовнішнє навантаження  $P_m$ , яке необхідно прикласти на обвалену руду при лабораторному моделюванні, визначається за формулою, [10, 11]

$$P_m / (\gamma_m \times l_m^3) = P_n \cdot M / (\gamma_n \times l_n^3). \quad (5)$$

Рішення задачі моделювання та встановлення закономірностей випуску обваленої руди з одного або системи випускних отворів пов'язане з дотриманням початкового стану системи та подоби умов на границях.

Однак, для досягнення високих показників виймання все частіше приходиться вирішувати питання в комплексі. Так, при удосконаленні випуску обваленої руди з метою підвищення показників вилучення або продуктивності праці, необхідно враховувати стан порід, які розташовуються навколо блоку, що відпрацьовується, рис. 1.

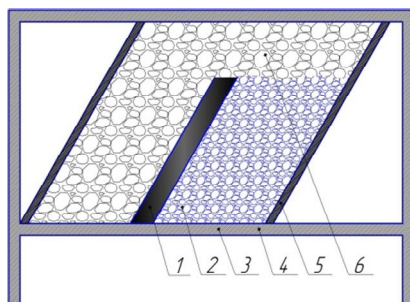
Поєднання двох різних методів моделювання в одну систему, необхідно здійснити ряд підготовчих робіт, пов'язаних по-перше з вибором якісного та кількісного складу еквівалентного матеріалу, по-друге дотримання одночасного масштаб часу при застосуванні натуральних та еквівалентних матеріалів в процесі моделювання.

**Постановка задачі.** Удосконалити методику з визначення кількісного складу еквівалентного матеріалу, який буде відповідати матеріалу в натурі, для забезпечення скорочення витрат часу на виготовлення та випробування зразків необхідно.

**Виклад матеріалу і результати.** Для визначення процесів, які протікають в лабораторній моделі доцільно застосувати комплексний метод моделювання, який включає в себе використання еквівалентних та натуральних матеріалів, рис. 1.

Даний метод дозволить оцінити не тільки показники вилучення, а також стан масиву навколо виробленого простору. Сутність даного методу полягає в наступному: натуральний матеріал 1 застосовуємо для визначення показників вилучення руди з очисних блоків в залежності від способу та режиму випуску; еквівалентний матеріал 2 – з метою оцінки стійкості вміщуючих порід в процесі випуску обваленої руди, рис. 1.

Всі еквівалентні матеріали по природі сполучного речовини діляться на наступні групи: неорганічні матеріали (цемент, гіпс і т.п.), які володіють крихкими властивостями; вуглеводні нафтового походження (парафін, вазелін і т.п.), що мають пластичні і пружні властивості; синтетичні полімери (епоксидна, карбамідних і інші смоли) з крихкими і пружно-пластичними властивостями; смоли природного походження (каніфоль, пек та ін.), пов'язані з крихким.



**Рис. 1.** Загальний вид лабораторної моделі: 1 – еквівалентний матеріал; 2 – натуральний матеріал, що імітує руду; 3 – корпус моделі; 4 – випускний отвір; 5 – стінка, що імітує лежачий бік; 6 – натуральний матеріал, що імітує вміщуючі породи.

З проведених досліджень було встановлено, що при визначенні стійкості гірського масиву та напружень навколо гірничих виробок доцільно використовувати неорганічні матеріали, засновані на піщано-парафіновій основі. Для умов Криворізького залізничного басейну встановлено, що доцільно застосовувати в складі еквівалентного матеріалу наступні речовини: гранітну крихту, чавун, кварцовий пісок, слюду, парафін.

Технологія виготовлення еквівалентного матеріалу на піщано-парафіновій суміші полягає в наступному: гранітну крихту, кварцовий пісок і чавуну стружку висушують, просіюють та нагрівають до температури 130°C. У відповідних пропорціях гранітну крихту, кварцовий пісок і чавунну стружку засипають в змішувач і змішують 10-15 хв. В отриману піщану суміш засипається заздалегідь відважені роздрібнена порція парафіну і далі перемішується в змішувачі протягом 25-30 хв при температурі 130±3 °С.

Готова суміш в гарячому стані шарами засипається в опалубку (зазвичай товщиною до 2 см) і далі проводиться розпушення суміші і вирівнювання шару перед укочуванням. Зазвичай

укочення відбувається за 10 повних циклів (в один цикл входить прямий і зворотний хід катка), при потужності укочує шару в 2 см рекомендується робити 15 повних циклів. При моделюванні трещиноватого масиву в процесі виготовлення моделі шари розсікаються спеціальними ножами відповідно до розташування природних тріщин.

Визначення пружних властивостей еквівалентного матеріалу проводиться статичним методом на зразках з розмірами 50×50×100 мм. Відношення висоти зразка до довжини ребра підстави повинно бути не менше 2 для створення в середній частині навантажувати зразка рівномірного одновісного напруженого стану. На спеціальній установці на зразок прикладають навантаження та рівномірно збільшують тиск на зразок до моменту його руйнування.

Тимчасовий опір досліджуваних зразків на стиск виконують відповідно до прийнятого міжнародним стандартом визначення міцності порід на одновісне стискання та визначають за виразом, Н/м<sup>2</sup>

$$G_{cm} = P/S, \quad (6)$$

де  $P$  – руйнівне навантаження, Н;  $S$  – площа поперечного перерізу зразка, м<sup>2</sup>.

Площа поперечного перерізу зразка визначається за формулою, см<sup>2</sup>

$$S = b_1 \cdot b_2, \quad (7)$$

де  $b_1, b_2$  – геометричні параметри зразка, відповідно ширина та довжина, см.

При визначенні деформаційних характеристик необхідно заміряти деформації зразків при випробуваннях в подовжньому і поперечному напрямках дії навантаження. Зразки випробували при різних стадіях навантаження (через 10-15% від навантаження, що руйнує зразок). Для забезпечення стабільності умов на контактах зразка з плитами преса початкове навантаження, що створює початкові напруження  $\sigma_0$ , не повинно перевищувати 5-10% від навантаження, що руйнує зразок.

На кожному ступені навантаження відразу після її застосування фіксуються деформації зразка в подовжньому ( $\Delta h$ ) і поперечному ( $\Delta b$ ) напрямках і розраховується коефіцієнт відносної поперечної деформації зразків

$$\mu = \frac{\varepsilon_{b_i}}{\varepsilon_{h_i}} = \frac{h \cdot (\Delta b_i - \Delta b_0)}{b \cdot (\Delta h_i - \Delta h_0)}, \quad (8)$$

де  $h$  і  $b$  – початкові, відповідно висота і ширина зразку;  $\Delta h_0$  і  $\Delta b_0$  – відповідно подовжжня і поперечна деформації зразку при початковому напруженні  $\sigma_0$ .

Модуль пружності визначається за виразом

$$E = h \cdot (\sigma_i - \sigma_0) / \Delta h_{0i}, \quad (9)$$

де  $\sigma_i$  і  $\sigma_0$  – напруження, відповідно в зразку при  $i$ -му ступеню навантаження та в початковому стані, кг/см<sup>2</sup>;  $\Delta h_{0i}$  – деформація зразка після розвантаження до початкового напруження  $\sigma_0$ , визначається за формулою, см

$$\Delta h_{0i} = h_{0i} - h_i, \quad (10)$$

де  $h_{0i}$  – висота зразка при  $i$ -му ступеню навантаження;  $h_i$  – висота зразка після зняття навантаження до початкового стану  $\sigma_0$ .

Для визначення кількісного складу еквівалентного матеріалу для залізистих кварцитів було приготовлено понад 100 лабораторних зразків. Слід зазначити, що кількості чавуну і гранітної крихти становить 34%, табл. 1.

Таблиця 1

Найменування	Кількісний склад еквівалентного матеріалу									
	Дослід									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чавун, %	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Гранітна крихта, %	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14
Парафін, %	1,6–2,4									
Слюда, %	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Кварцовий пісок, %	63,9–63,1									

У результаті встановлення якісного складу еквівалентного матеріалу були отримані емпіричні залежності з визначення зовнішнього навантаження, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона від кількісного складу чавуну, граніту і парафіну. Так, напруження, що виникають в масиві еквівалентного матеріалу, визначається за емпіричною формулою, кг/см<sup>2</sup>

$$\sigma = x^2 \cdot (A \cdot x^2 + C) + x \cdot (B \cdot x^2 + D) + 1383,7 \cdot \xi^2 - 6947,3 \cdot \xi + 9346,1, \quad (11)$$

де  $A, B, C, D$  – дійсні числа, які визначаються емпіричними виразами, табл. 2;  $x$  – кількість чавуну в складі еквівалентного матеріалу.

Таблиця 2

Емпіричні рівняння дійсних чисел входять в рівняння (6)

Параметр	Формула	Коефіцієнт кореляції, $R$
$A$	$0,0560 - 0,0018 \cdot \xi$	0,9978
$B$	$0,0624 \cdot \xi - 0,3187$	0,9972
$C$	$2,9441 \cdot \xi^2 - 9,0704 \cdot \xi + 11,7490$	0,9997
$D$	$-143,43 \cdot \xi^2 + 476,2 \cdot \xi - 395,77$	0,9996

де  $\xi$  – процентна кількість парафіну в піщано-парафіновій суміші (за даними моделювання приймається від 1,5 до 2,4), %

В процесі випробувань зразків із еквівалентних матеріалів були побудовані залежності по визначенню кількісного складу еквівалентного матеріалу від фізико-механічних властивостей, якими повинна володіти піщано-парафінова суміш, рис.2.

З графіків приведених на рис.3 видно, що зі збільшенням відсоткового співвідношення кількості чавуну в еквівалентному матеріалі збільшується коефіцієнт Пуассону.

Таким чином, в залежності від необхідних фізико-механічних властивостей еквівалентного матеріалу, згідно графіків наведених на рис. 2 та рис.3 обираємо співвідношення чавуну до гранітної крихти. Так, якщо нам необхідно щоб межа міцності еквівалентного матеріалу складала  $1000 \text{ кг/см}^2$  кількість чавуну в еквівалентному матеріалі повинна складати 4 або 16%, а гранітної крихти відповідно 40 або 18%, при цьому коефіцієнт Пуассону складатиме 0,2 та 0,3 відповідно.

**Висновки.** У процесі досліджень встановлені залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу для заданих фізико-механічних властивостей. Отримані емпіричні залежності кількісного складу еквівалентного матеріалу, що дозволяє значно зменшити кількість дослідів, за допомогою яких встановлюються фізико-механічні властивості еквівалентного матеріалу.

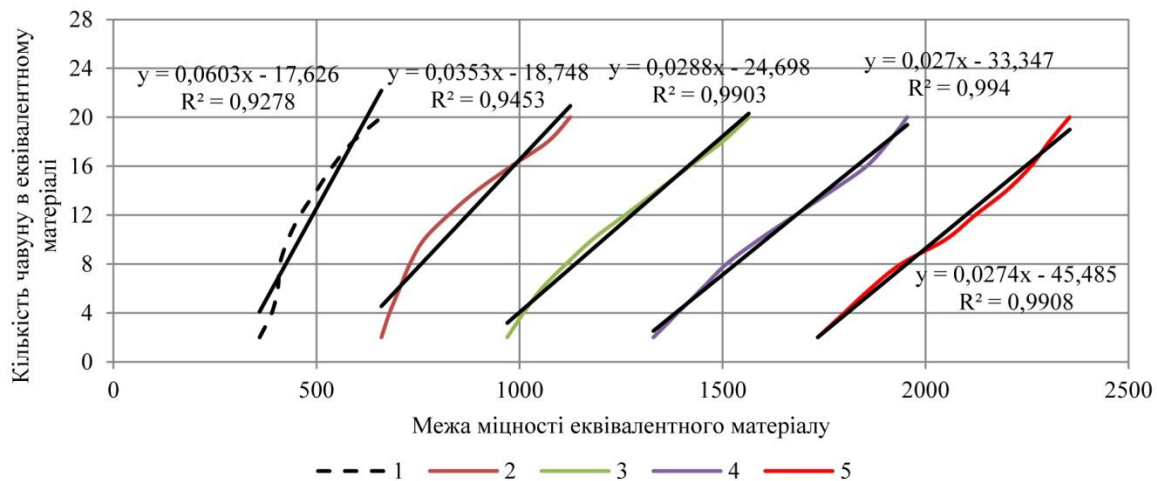


Рис. 2. Залежності необхідної кількості чавуну в еквівалентному матеріалі від межі міцності еквівалентного матеріалу та відсоткового співвідношення парафіну: 1-5 – відповідно 1,6; 1,8; 2,0; 2,2 і 2,4%

Залежності коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі наведені на рис. 3.

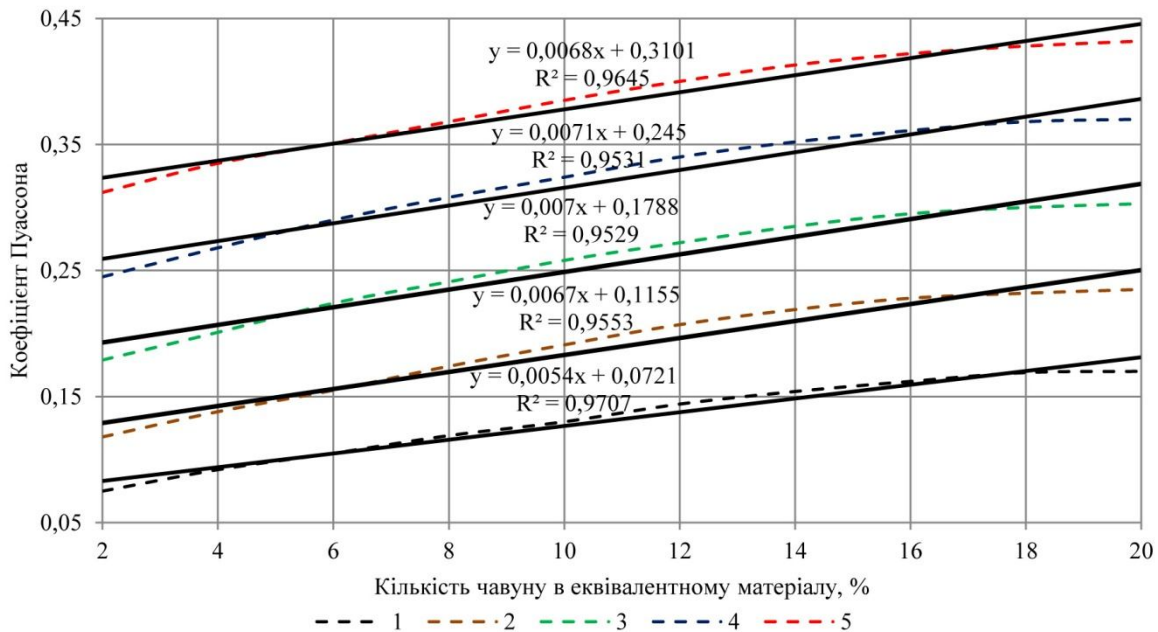


Рис. 3. Залежності коефіцієнту Пуассона від кількості чавуну в еквівалентному матеріалі та відсоткового співвідношення парафіну: 1-5 – відповідно 1,6; 1,8; 2,0; 2,2 и 2,4%

#### Список літератури

1. Казаков В.Л., Паранько И.С., Сметана Н.Г., Шипунова В.А., Коцюрба В.В., Калиниченко О.А. «Природнича географія Кривбасу». – Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2005.
2. Колоколов О.В. Технологія видобування джеспіліту на шахтах Криворізького залізорудного басейну / О.В. Колоколов, О.Є. Хоменко, М.В. Нетеча // Науковий вісник НГУ. 2006. - №7. – С. 3-7.
3. Бондаренко В.И., Ковалекская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга 1. Допредельное деформирование системы "порода-крепь". – Монография. – Д.: Системні технології, 2006. – 172 с.
4. Stupnik N.I., Kolosov V.A., Kalinichenko V.O., Pismenniy S.V. & Shepel A.I. (2014). Modeling of stopes in soft ores during ore mining theme. Metallurgical and mining industry, no.3, pp. 32–36.
5. Хоменко О.Е. Моделирование на эквивалентных материалах выработанного пространства рудных шахт [Текст] / О.Е. Хоменко, В.В. Русских, М.Н. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2004. – №8. – С. 23–25.
6. Мартынов В.К., Кудрявцев М.С., Зайцев Н.М. и др. К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на природу // Разраб. рудн. месторождений. – К.: Техніка. – 1970. – Вып. 10. – С. 13.
7. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. – М.: Наука, 1975.
8. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 256 с.
9. Изучение проявлений горного давления на моделях / Г.Н.Кузнецов, М.Н.Будько, А.А.Филиппова, М.Ф.Шклярский. – М.: Углетехиздат, 1959. – 283 с.
10. Кирпичев М.В. Моделирование тепловых устройств. – М.: Изв. ЭННИН АН СССР, т. 1. – 1933.
11. Кирпичев М.В. Теория подобия. – М.: Академия Наук СССР, 1953. – 95 с.
12. Куликов В.В. Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
13. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика обрушенной руды. – М.: Недра, 1968. – 311 с.
14. Корж В.А. Эквивалентные параметры кусков обрушенной руды в блоке// Разраб. рудн. месторождений. – Кривий Ріг: КТУ, 1996. – № 59. – С. 52-59.
15. Письменный С.В., Томашевський О.Б. Моделювання стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізорудного басейну// Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2015 – Вип. 40. – С. 98-104.
16. Математичне моделювання напружено-деформованого стану гірського масиву навколо очисних камер / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.В. Калініченко, І.О. Музика, М.Б. Федько, С.В. Письменний// Збірник наукових праць Науково-дослідного гірничорудного інституту Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет». Кривий Ріг. – 2015. – № 54. – С.22.
17. Інформаційні технології – складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, С.В. Письменний, О.В. Калініченко, І.О. Музика, М.Б. Федько // Сб. наукових праць "Школа підземної розробки". – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – С. 132-138.

Рукопис подано до редакції 12.04.2018