



**Калініченко О. В., к.е.н., доцент** (Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»)

## **МЕТОДИКА ТА ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СУМІШЕЙ НА МОДЕЛЯХ З ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Метою даної роботи є розробка методики проведення лабораторних досліджень та вибору складів експериментальних сумішей для моделювання на еквівалентних матеріалах. Підбір еквівалентних матеріалів виконувався на підставі теорії подібності. Вибір масштабу моделювання приймався виходячи з глибини розробки, методики вимірювань деформацій і напружень, можливості лабораторного обладнання, фізико-механічних властивостей еквівалентних матеріалів. Основними фізико-механічними властивостями, що характеризували масив гірських порід і закладки прийнято: межу міцності на стиснення; об'ємна вагу; модуль пружності Юнга; коефіцієнт Пуассона та модуль зсуву. Крім даних критеріїв визначено відношення об'ємної ваги еквівалентного матеріалу моделі і відповідної об'ємної ваги модельованих натурних масивів. Для перевірки збіжності властивостей матеріалу моделі і природи було виготовлено і відпрацьовано кілька моделей. Після цього до складу еквівалентного матеріалу і в технологію його виготовлення були внесені відповідні зміни, що дозволило отримати функціональну схожість матеріалу моделі і природи.

**Ключові слова:** лабораторні дослідження, моделі, гірські породи, еквівалентні матеріали.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Дослідження масиву гірських порід в підземних умовах пов'язані зі значними виробничими труднощами та надзвичайно ускладнені. Тому, для отримання адекватних результатів виникає нагальна потреба у виконанні спеціальних аналітичних і експериментальних досліджень, що дозволять визначати оптимальну технологію підземних гірничих робіт.

У виконаній роботі для досягнення поставленої задачі проводилися експериментальні дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів. Метою даних досліджень була розробка методики прове-

дення лабораторних досліджень та вибору складів експериментальних сумішей для моделювання на еквівалентних матеріалах.

**Постановка завдання.** В процесі моделювання дотримання всіх критеріїв подібності, що забезпечують подібність механічних процесів неможливо, тому необхідно виділити і забезпечити пропорційність фізичних констант, що мають вирішальне значення для досліджуваного явища.

Методика вибору складів для моделювання на еквівалентних матеріалах досить повно розглянута в роботах І.Д. Насонова [1], Г.М. Кузнєцова [2], М.В. Кірпічова [3], а також в інших роботах [3–5].

Тому підбір еквівалентних матеріалів виконувався на підставі теорії подібності. Вибір масштабу моделювання приймався виходячи з глибини розробки, методики вимірювань деформацій і напружень, можливості лабораторного обладнання, фізико-механічних властивостей еквівалентних матеріалів.

Таким чином, метою даної роботи є дослідження та розробка методики проведення лабораторних досліджень та вибору складів експериментальних сумішей для моделювання на еквівалентних матеріалах.

**Викладення матеріалу та результати.** При лабораторних дослідженнях деформацій і напруженого стану масиву, викликаних підземними гірничими роботами, необхідно визначити критерії подібності для еквівалентних матеріалів.

Основними фізико-механічними властивостями, що характеризують масив гірських порід і закладку є:  $G_{сж}$  – межа міцності на стиснення;  $\gamma$  – об'ємна вага;  $E$  – модуль пружності Юнга;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $G$  – модуль зсуву. Для конкретних умов експерименту, крім даних критеріїв, необхідно визначити відношення об'ємної ваги еквівалентного матеріалу моделі і відповідної об'ємної ваги модельованих натурних масивів  $\gamma_m/\gamma_n$ .

Для приготування еквівалентного матеріалу використовувався спеціальний змішувач, який складається з рами, ємності циліндричної форми для перемішування еквівалентного матеріалу та підігрівача матеріалу.

Складові частини еквівалентного матеріалу завантажувалися в ємність, ретельно перемішувалися до отримання однорідної маси. Отримана таким способом суміш підігрівалася до температури 130–150° С.

Далі в нагрітій матеріал додавалася розрахункова кількість технічного парафіну, який протягом 5-7 хвилин додатково змішувався



з еквівалентним матеріалом. Отримана однорідна маса еквівалентного матеріалу з заданими фізико-механічними властивостями заочувалася в модель шарами відповідно до масштабу моделювання.

Тимчасовий опір досліджуваних зразків на стиск визначали відповідно до прийнятого міжнародним стандартом методу визначення міцності порід при одноосьовому стисканні [6; 7].

Тимчасовий опір досліджуваних зразків визначається за формулою:

$$G_{ст} = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

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

Визначення пружних властивостей еквівалентного матеріалу визначалося статичним методом на зразках з розмірами 50×50×100 мм. При даному співвідношенні в середній частині зразка при його навантаженні створювався рівномірний одновісний напружений стан.

Вимірювання величини деформації зразків виконували за допомогою тензометричних пристроїв.

Для вимірювання поздовжніх деформацій тензometri розміщували в напрямку навантаження зразка, а для поперечних – перпендикулярно до навантаження.

Для контролю однорідності напруженого стану зразка і статичного усереднення показників окремих тензometrів (для зниження похибки цих показників) тензometri дублюють. При цьому в точці вимірювання встановлюють два датчика, один для вимірювання поздовжніх деформацій, інший – поперечних.

Модуль пружності  $E$  і коефіцієнт поперечних деформацій  $\mu$  розраховують за формулами:

$$E = \frac{K \cdot P}{\xi_1 \cdot S}, \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\xi_2}{\xi_1}, \quad (3)$$

$$\xi_2 = \frac{\Delta d}{d}, \quad (4)$$

$$\xi_1 = \frac{\Delta l}{l}, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт тарування тензometrів;

$P$  – навантаження на зразок, кг;

$S$  – площа зразка, см<sup>2</sup>;

$\xi_1, \xi_2$  – поздовжні і поперечні відносні деформації зразка.

Висока вірогідність моделювання технологічних процесів, що протікають в масиві гірських порід, досягається в тому випадку, коли процеси в моделі і в натурі відбуваються під дією сил тяжіння, тобто без зовнішнього навантаження. Отже, для коректного проведення лабораторних досліджень необхідно отримати еквівалентний матеріал з адекватним об'ємною вагою.

Для моделювання розробки родовищ Кривбасу застосовувався еквівалентний матеріал, основою якого був мелений чавун. У цьому випадку співвідношення об'ємної ваги еквівалентного матеріалу і гірських порід знаходилося в межах від 0,6 до 2,0.

При виборі еквівалентних матеріалів були випробувані різні наповнювачі та в'язучі речовини: кварцовий пісок, мелена слюда, крейда, мелений граніт, парафін, гіпс, цемент і т.п.

Після випробувань технологій приготування і оцінки фізичних властивостей отриманих еквівалентних матеріалів остаточний склад суміші складався з наступних компонентів: кварцовий пісок, мелений граніт, чавун і парафін.

Для перевірки збіжності властивостей матеріалу моделі і натури було виготовлено і відпрацьовано кілька моделей. Після цього до складу еквівалентного матеріалу і в технологію його виготовлення були внесені відповідні зміни, що дозволило отримати функціональну схожість матеріалу моделі і натури.

Для визначення загальної надійності моделювання на еквівалентних матеріалах  $P$  по теоремі множення ймовірностей незалежних подій  $P_n$  надійність моделювання визначають з виразу:

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times \dots \times P_n = \sum_{i=1}^n P_n. \quad (6)$$

**Висновки.** Запропонована методика проведення лабораторних досліджень та вибору складів експериментальних сумішей для моделювання на еквівалентних матеріалах родовищ Криворізького залізорудного басейну.

Для перевірки збіжності властивостей матеріалу моделі і натури було виготовлено і відпрацьовано кілька моделей. З урахуванням отриманих результатів до складу еквівалентного матеріалу і в технологію його виготовлення були внесені відповідні зміни, що дозволило отримати функціональну схожість матеріалу моделі і натури.

1. Насонов И. Д. Моделирование горных процессов : ученик для вузов. М. : Недра, 1978. 256 с. 2. Кузнецов Г. Н., Бутько М. Н., Филиппова А. А. Изучение проявлений горного давления на моделях. М. : Углетехиздат, 1959.



283 с. **3.** Кирпичев М. В. Теория подобия. М.: Академия Наук СССР, 1953. 95 с. **4.** Алабурхаев П. М., Теропамус В. Б. Теория подобия и размерностей. Моделирование. М.: Высшая школа, 1968. 206 с. **5.** Глушихин Ф. П. Моделирование в геомеханике. М.: Недра, 1991. 240 с. **6.** Розробка інформатизованих систем моніторингу і керування процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні відкритих гірничих виробок і штучних підземних споруд»: звіт з НДР, 0114U003776с. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ»–«НГУ», 2015. 117 с. **7.** Method of simulating rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials / M. Stupnik, V. Kalinichenko, S. Pysmennyi, O. Kalinichenko, M. Fedko. *Mining of Mineral Deposits, National Mining University*. 2016. Volume 10, Issue 3. P. 47–52.

## REFERENCES:

**1.** Nasonov I. D. Modelirovanie hornykh protsessov : uchenik dlia vuzov. M. : Nedra, 1978. 256 s. **2.** Kuznetsov H. N., Budko M. N. , Fylyppova A. A. Izuchenie proiavlennii hornoho davleniia na modeliakh. M. : Uhletekhizdat, 1959. 283 s. **3.** Kirpichev M. V. Teoriiia podobiiia. M. : Akademiia Nauk SSSR, 1953. 95 s. **4.** Alaburkhaev P. M., Teropamus V. B. Teoriiia podobiiia i razmernostei. Modelirovanie. M. : Vysshaiia shkola, 1968. 206 s. **5.** Hlushikhin F. P. Modelirovanie v heomekhanike. M. : Nedra, 1991. 240 s. **6.** Rozrobka informatyzovanykh system monitorynhu i keruvannia protsesamy vzaieמודii poliv napruzhenno-deformovanoho stanu masyvu pry formuvanni vidkrytykh hirnychykh vyrobok i shtuchnykh pidzemnykh sporud» : zvit z NDR, 0114U003776с. Kryvyi Rih : DVNZ «KNU»–«NHU», 2015. 117 s. **7.** Method of simulating rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials / M. Stupnik, V. Kalinichenko, S. Pysmennyi, O. Kalinichenko, M. Fedko. *Mining of Mineral Deposits, National Mining University*. 2016. Volume 10, Issue 3. R. 47–52.

Рецензент: д.т.н., професор Маланчук З. Р. (НУВГП)

---

**Kalinichenko O. V., Candidate of Economics (Ph.D.), Associate Professor** (State Institution of Higher Education "Kryvyi Rih National University")

## METHOD AND PROCEDURE FOR PERFORMANCE OF EXPERIMENTAL MIXTURES STUDIES ON MODELS OF EQUIVALENT MATERIALS

**The purpose of this work is to develop a methodology for conducting laboratory studies and the selection of formulations of experimental mixtures for simulation on equivalent materials. The selection of equivalent materials was carried out on the basis of similarity theory.**

**The choice of scale modeling was made based on the depth of development, methods of measuring deformations and stresses, the possibility of laboratory equipment, physical and mechanical properties of equivalent materials. The main physical and mechanical properties characterizing an array of rocks and tabs were taken: the strength of compression strength; bulk weight; Jung's elastic modulus; Poisson coefficient and shear modulus. In addition to these criteria, the ratio of the volumetric weight of the equivalent model material and the corresponding volumetric weight of the simulated natural massifs is determined. High probability of modeling of technological processes occurring in a rock massif is achieved in the case when processes in the model and in nature occur under the action of gravity forces, that is, without external loading. For the correct laboratory research it is necessary to obtain an equivalent material with an adequate volume weight.**

**To simulate the development of Kryvbas deposits, an equivalent material was used, the basis of which was cast iron. In this case, the ratio of the volumetric weight of the equivalent material and rocks was in the range of 0.6 to 2.0.**

**Different fillers and astringents were tested when selecting equivalent materials. To test the convergence of the properties of the model material and nature, several models were produced and worked out. Subsequently, appropriate changes were made to the equivalent material and to the technology of its manufacture, which allowed to obtain a functional similarity between the material of the model and the nature.**

**The method of carrying out of laboratory researches and choice of warehouses of experimental mixtures for modeling on the equivalent materials of deposits of Krivoy Rog iron ore basin is offered.**

**To test the convergence of the properties of the model material and nature, several models were produced and worked out. Taking into account the results obtained, the corresponding material and the technology of its production were made corresponding changes, which allowed to obtain a functional similarity of the material of the model and nature.**

***Keywords:* laboratory investigations, models, rocks, equivalent materials.**



**Калиниченко Е. В., к.э.н., доцент** (Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»)

## **МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СМЕСЕЙ НА МОДЕЛЯХ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Целью данной работы является разработка методики проведения лабораторных исследований и выбора составов экспериментальных смесей для моделирования на эквивалентных материалах. Подбор эквивалентных материалов выполнялся на основании теории подобия. Выбор масштаба моделирования принимался исходя из глубины разработки, методики измерений деформаций и напряжений, возможности лабораторного оборудования, физико-механических свойств эквивалентных материалов. Основными физико-механическими свойствами, характеризующими массив горных пород и закладки приняты: предел прочности на сжатие; объемный вес; модуль упругости Юнга; коэффициент Пуассона и модуль сдвига. Кроме данных критериев определены отношение объемного веса эквивалентного материала модели и соответствующего объемного веса моделируемых натуральных массивов. Для проверки сходимости свойств материала модели и природы было изготовлено и отработано несколько моделей. После этого в состав эквивалентного материала и в технологию его изготовления были внесены соответствующие изменения, что позволило получить функциональную схожесть материала модели и природы.**

**Ключевые слова:** лабораторные исследования, модели, горные породы, эквивалентные материалы.

---