

## МОДЕЛЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РУЙНУВАННЯ ПОРОДИ ІНДУКТИВНОЮ ПЛАЗМОЮ

*У статті в якості зразків гірських порід для проведення експерименту обрані магnezит, антрацит, кремій. Забезпечення адекватності результатів експериментальних досліджень руйнування породних масивів керованим електротермічним впливом індуктивної плазми досягається за рахунок: обрання змінної стану породи та параметрів, що впливатимуть на неї при руйнуванні її керованим електротермічним впливом; розробки схеми стенду; перевірки адекватності моделі експериментальних досліджень. Для забезпечення адекватності результатів експериментальних досліджень руйнування породних масивів керованим електротермічним впливом індуктивної плазми обрано ортогональне центральне композиційне планування. Запропоновано матрицю експерименту, що задовольняє затвердженій моделі. Спроектовано електричну схему стенду експериментальних досліджень. Адекватність моделі підтверджена за критерієм Кохрена.*

**Ключові слова.** Експеримент, модель досліджень, керований електротермічний вплив, індуктивна плазма.

### Вступ

У процесі вимірювань, обробки даних, а також формалізації результатів у вигляді математичної моделі, виникають похибки і втрачається частина інформації, що міститься у вихідних даних. Застосування методів та моделей планування експерименту дозволяє визначити похибку математичної моделі і судити про її адекватність. Якщо точність моделі виявляється недостатньою, то застосування методів планування експерименту дозволяє модернізувати математичну модель з проведенням додаткових дослідів без втрати попередньої інформації і з мінімальними витратами [1].

### Мета та завдання

Метою роботи є забезпечення адекватності результатів експериментальних досліджень руйнування породних масивів керованим електротермічним впливом індуктивної плазми. Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- обрати змінну стану породи та параметри, що впливатимуть на неї при руйнуванні її керованим електротермічним впливом;
- розробити схему стенду;
- перевірити адекватність моделі експериментальних досліджень.

### Матеріал і результати досліджень

Програму та методику досліджень розроблено у відповідності до [1]. Досліджується реакція масивів на керований електротермічний вплив (КЕВ) зовнішнього енергетичного джерела.

КЕВ планується до впровадження на підприємствах гірничої та машинобудівної галузей. В якості зразків гірських порід для проведення експерименту обрані магnezит, антрацит, кремій. Магnezит обрано через поширеність його використання, наприклад у виробництві будівельних матеріалів, кераміки, скла тощо [2]. Більше 50 % запасів загальносвітового вугілля знаходиться на території країн СНД. Тому доцільним є дослідження антрациту [3]. Кремій є другим за поширеністю елементом на Землі [4]. Тому доцільним є дослідження руйнування обраних гірських порід запропонованим способом.

Одним з основних показників міцності гірських порід є модуль Юнга [5]. Тому змінною стану обрано модуль Юнга,  $E$  (ГПа) до і після проведення дослідів. На модуль Юнга впливають наступні групи параметрів: масивів (геометрія зразків порід, міцність, частота власних коливань кристалічних решіток порід), електричної системи (тип напруги живлення, значення напруги живлення і індуктивності системи, наповнювач розрядного каналу, відстані між розрядниками), руйнуючого розрядного каналу (температура, товщина, частота власних коливань електронів плазмового каналу). Для дослідження системи обрано критерій мінімуму кількості дослідів при дотриманні вимог до якості оцінки функції або чинників - ортогональне центральне композиційне планування [6], що має мінімальну і достатню кількість рівнів варіювання чинників (3). Ядром плану є повночинниковий експеримент типу  $2^3 - 3$  чинники, 15 дослідів. У відповідності до матриці планування, досліджується залежність модулю Юнга,  $E$  (ГПа) породи від напруги живлення  $U$  (В), відстані між розрядниками системи,  $l$  (м), індуктивності контуру схеми,  $L$  (Гн), до і після керованого електротермічного впливу індуктивною плазмою:  $E=f(U, l, L)$ .

Для проведення експерименту, розроблено експериментальний стенд, рис. 1.

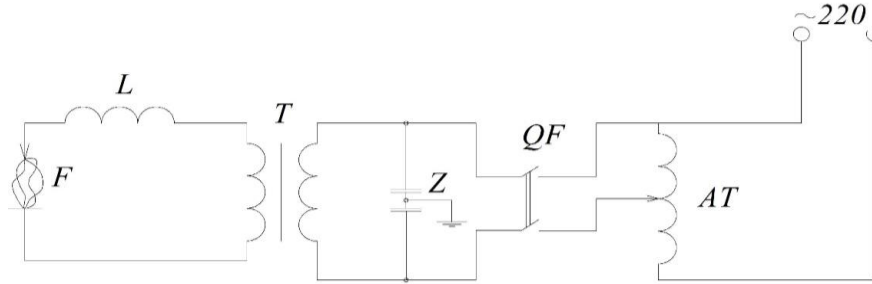


Рисунок 1 – Електрична схема стенду експериментальних досліджень системи КЕВ: F – розрядник; L – індуктивність; T – високовольтний трансформатор; Z – фільтр; QF – вимикач; PV – вольтметр; AT – автотрансформатор

Від мережі 220 В живиться автотрансформатор AT, вихідна напруга якого регулюється від 0 до 127 В. Фільтр Z згладжує синусоїду напруги і забезпечує плавність пуску та надійність роботи високовольтного трансформатора T. Він настроєний на коефіцієнт перетворення 1181 – максимальне значення для плавного регулювання напруги автотрансформатором. Напруга на виході T проходить через дросель L, який призначений для створення енергетичного колапсу. Канал плазми пробиває розрядник F. Утворюється коливальний контур. Котушка індуктивності складається з 2217 витків мідного проводу, діаметром 0,550 мм. Установка має наступні переваги: мінімум елементів, що зменшує кількість вузлів; використання змінного струму не передбачає застосування випрямлячів; за необхідності, є можливість використання постійної напруги на виході; є можливість застосовувати різні рівні напруги, зменшуючи або збільшуючи відстань між розрядниками, таким чином підбираючи пробивну напругу. Для безпеки обслуговуючого персоналу, експериментальний стенд знаходиться у клітці Фарадея (заземлена сітка, що перешкоджає доступ до установки). Для запобігання нещасних випадків, корпус високовольтного трансформатора заземлений. Роботи виконуються на резинових килимах у діелектричних рукавицях із заземленими штангами, довжиною не менше 1,5 м.

Обрано рівні та інтервали варіювання головних чинників (U, l, L) і зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівні та інтервали варіювання чинників

Чинник	Рівні			Інтервал варіювання
	Нижній (-1)	Нульовий (0)	Верхній (+1)	
$x_1$ – напруга живлення, кВ	0	16	28	8
$x_2$ – відстань між розрядниками КЕВ системи, м	0,01	0,02	0,03	0,01
$x_3$ – індуктивність контуру схеми, мкГн	11,92	23,84	35,76	11,92

У відповідності до матриці планування, досліджується залежність модулю Юнга  $E$  (ГПа) до і після КЕВ в залежності від напруги живлення  $U$  (кВ), відстані між розрядниками КЕВ системи,  $l$  (м), індуктивності контуру схеми,  $L$  (мкГн):  $E=f(U, l, L)$ .

Матриця планування експерименту в явному вигляді зведена до таблиці 2.

При проведенні експерименту, досліді в одній точці чинникового простору проводять не підряд. Їх обходять в першій, другій, ...,  $v$ -ій серії дослідів. Для зменшення впливу зовнішнього середовища і неконтрольованих чинників, всередині кожної серії, точки чинникового простору введено випадковим чином – рандомізовано послідовність дослідів [10]. Рандомізацію дослідів проведено за допомогою генератора випадкових чисел.

За результатами проведення дослідів отримано три залежності для кожного типу масивів ( $E=f(U)$ ,  $E=f(l)$ ,  $E=f(L)$ ) по п'ять кривих. Експеримент виконано відповідно до таблиці 2. Загальна кількість кривих у двовимірному просторі (45 шт.) повністю характеризує чотирьохвимірний простір залежності:  $E=f(U, l, L)$ .

Для перевірки адекватності моделі використано критерій Кохрена [7]. Коефіцієнт значущий, якщо  $G > G_{табл}$ . Для 15 експериментів та 3 чинників,  $G_{табл} = 0.276$  [7].

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту в явному вигляді

Порядок проведення дослідження	№ дослідження	$x_0$	Планування		
			$x_1$	$x_2$	$x_3$
			напруга живлення, кВ	відстань між розрядниками КЕВ системи, м	індуктивність контуру схеми, мкГн
1 блок					
1	12	+1	0	0,01	2,98
2	10	+1	8	0,01	2,98
3	4	+1	16	0,01	2,98
4	1	+1	24	0,01	2,98
5	15	+1	32	0,01	2,98
2 блок					
6	2	+1	0	0,02	11,92
7	13	+1	8	0,02	11,92
8	3	+1	16	0,02	11,92
9	14	+1	24	0,02	11,92
10	9	+1	32	0,02	11,92
3 блок					
11	5	+1	0	0,03	26,84
12	8	+1	8	0,03	26,84
13	11	+1	16	0,03	26,84
14	6	+1	24	0,03	26,84
15	7	+1	32	0,03	26,84

Відношення максимальної дисперсії до суми дисперсій, що розраховані згідно [1],  $G=1,072/3,702=0,2895$ . Рівняння значимо,  $G = 0,2895 > G_{табл} = 0,276$ . Отже модель експерименту – адекватна.

#### Висновки.

1. Для дослідження КЕВ системи обрано критерій мінімуму кількості дослідів при дотриманні вимог до якості оцінки функції або чинників, ортогональне центральне композиційне планування, що має мінімальну і достатню кількість рівнів варіювання чинників – 3. Ядром плану є повночинниковий експеримент типу  $2^3 - 3$  чинники, 15 дослідів.

2. Запропоновано матрицю експерименту, що задовільняє затвердженій методиці.

3. Обрано рандомізацію експериментальних досліджень за допомогою генератора випадкових чисел.

4. Спроектовано електричну схему стенду експериментальних досліджень, яка має наступні переваги перед відомими: відсутність ємнісного розрядного контуру; мінімум елементів, що зменшує кількість вузлів; використання змінного струму не передбачає застосування випрямлячів; за необхідності, можливість використання постійної напруги на виході; є можливість застосовувати різні рівні напруги, зменшуючи або збільшуючи відстань між розрядниками, таким чином підбираючи пробивну напругу.

5. Критерій Кохрена складає 0,2895 в. о., що підтверджує адекватність моделі експерименту.

#### Література

1. Ивоботенко, Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике [Текст] : учеб. пособие / Б. А. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, И. П. Копылов ; под ред. Г. Ф. Филаретова ; - М. : Энергия, 1975.- 184 с. - (Университетская книга).

2. Магnezит - тальковий (горький) шпат. [Электронный ресурс] / Каталог минералов – Режим доступа : URL : <http://www.catalogmineralov.ru/article/363.html#/> - 2013 г. – Загл. с экрана.

3. Каменный уголь и антрацит . [Электронный ресурс] / Минералы и горные породы России и СССР – Режим доступа : URL : [http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2\\_5\\_2\\_21\\_2.htm/](http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2_5_2_21_2.htm/) - 2013 г. – Загл. с экрана.

4. Що таке кремній. [Електронний ресурс] / Відповіді на всі запитання – Режим доступа : URL : <http://answers.in.ua/shho-take-kremnij/> - 2013 р. – Загол. з екрана.

5. Narisava, I. Polymere Strength [Text] / I. Narisava. – Japan. : OHMSHA, 1982. - 399 p.

6. Ташлинский, А. Г. Ортогональные и рототабельные центральные композиционные планы эксперимента [Текст] : метод. указ. / А. Г. Ташлинский, Г. Л. Минкинав ; КНУ им. Т. Г. Шевченко. - Ульяновск : УлГТУ, 2005. - 39 с. - Библиогр. : С. 14-20.

7. Таблиці критичних значень основних статистичних критеріїв. [Текст] : метод. вказ. / М. А. Петрова; Інститут цивільного захисту. - Львів : ЛДУБЖ, 2012. - 10 с.

A. KLESHCHOV, postgraduate student,

O. TERENTIEV, D.Sc. prof.

National technical university of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

#### EXPERIMENTAL RESEARCH MODEL OF INDUCTIVE PLASMA ROCK FAILURE

*This article suggests magnesite, anthracite and silicone as rock specimens for conducting the experiment. Valid results of experimental research of inductive plasma directed thermal-electric effect on rock failure are provided due to: selection of rock state variable and parameters that will be used during directed thermal-electric rock failure; design of test bench scheme; verification of experimental research model validity. In order to provide valid results of experimental research of inductive plasma directed thermal-electric effect on rock failure the orthogonal central composition planning is chosen. In addition, this article suggests the experiment matrix that complies with the approved research model. The electric scheme of experimental research test bench is designed. The model validity is verified according to Cochran criterion.*

**Key words.** Experiment, research model, directed thermal-electric influence, inductive plasma.

#### References

1. Ivobotenko, B. A. Planirovanie eksperimenta v elektromekhanike [Tekst] : ucheb. Posobie / B. A. Ivobotenko, N. F. Il'inskiy, I. P. Kopylov ; pod red. G. F. Filaretova ; - M. : Energiya, 1975.- 184 s. – (Universitetskaya kniga).

2. Magnezit – tal'koviy (gor'kiy) shpat. [Elektronniy resurs] / Katalog mineralov – Rezhim dostupa : URL: <http://www.catalogmineralov.ru/article/363.html#/> - 2013 g. – Zagl. s ekrana.

3. Kamenniy ugol' I antratsyt. [Elektronniy resurs] / Mineraly I gornye porody Rossii I SSSR – Rezhim dostupa : URL : [http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2\\_5\\_2\\_21\\_2.htm/](http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2_5_2_21_2.htm/) - 2013 g. – Zagl. s ekrana.

4. Shcho take kremniy. [Elektronniy resurs] / Vidpovidi na vsi zapytannia – Rezhim dostupu : URL : <http://answers.in.ua/shho-take-kremnij/> - 2013 g. – Zagol. z ekrana.

5. Narisava, I. Polymere Strength [Text] / I. Narisava. – Japan. : OHMSHA, 1982. - 399 p.

6. Tashlinskiy, A. G. Ortogonal'nye I rototabel'nye tsentral'nye kompozitsionnye plany eksperimenta [Tekst] : metod. ukazaniia / A. G. Tashlinskiy, G. L. Minkinav ; KNU im. T. G. Shevchenko. – Ul'ianovsk : UIGTU, 2005. - 39 p. - Bibliogr. : P. 14-20.

Tablytsi krytychnykh znachen' jsnjvnykh statystychnykh kryteriyiv. [Tekst] : metod. vказ. / M. A. Petrova, Instytut tsyvil'nogo zakhystu. – L'viv : LDUBZh, 2012. - 10 p.

A. И. КЛЕЩЕВ, аспирант,

O. M. ТЕРЕНТЬЕВ, д. т. н., проф.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

#### МОДЕЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗРУШЕНИЕ ПОРОДЫ ИНДУКТИВНОЙ ПЛАЗМОЙ

*В статье в качестве образцов горных пород для проведения эксперимента выбраны магnezит, антрацит, кремнь. Обеспечение адекватности результатов экспериментальных исследований разрушения породных массивов управляемым электротермическим влиянием индуктивной плазмы достигается за счет: выбора переменной состояния породы и параметров, которые будут влиять на нее при разрушении ее управляемым электротермическим воздействием; разработки схемы стенда; проверки адекватности модели экспериментальных исследований. Для обеспечения адекватности результатов экспериментальных исследований разрушения породных массивов управляемым электротермическим воздействием индуктивной плазмы выбрано ортогональное центральное композиционное планирование. Предложено матрицу эксперимента, которая удовлетворяет утвержденной модели. Спроектировано электрическую схему стенда экспериментальных исследований. Адекватность модели подтверждена по критерию Кохрена.*

**Ключевые слова.** Эксперимент, модель исследований, управляемое электротермическое воздействие, индуктивная плазма.