

**В.В. Калюжна, к.т.н., доц.****О.В. Романчук, аспір.***Національний технічний університет України "КПІ"***О.В. Козак, аспір.***Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова НАН України*

## **РОЗРОБКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТРИЩИНУВАТОСТІ ІНТРУЗИВНОГО МАСИВУ**

*(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)*

*В основу досліджень покладені теоретичні розрахунки та експериментальні спостереження за способами, що застосовуються для дослідження та аналізу тріщинуватості масиву твердих вивержених порід Українського кристалічного щита.*

### **Вступ**

На даному етапі розвитку каменевидобувної галузі доцільність та актуальність вирішення проблеми визначення виходу блоків є незаперечною аксіомою. Значення визначення виходу блоків полягає в специфіці предметної діяльності та явищах, що пов'язані з існуванням проблемних ситуацій при розвідці та експлуатації кар'єрів облицювального каменю. Це, в свою чергу, породжує сукупність нерозв'язаних задач, постановка яких викликана обгрунтованою невдоволеністю гірничих фахівців неефективністю екстенсивного використання надр. Такий стан речей відповідає загальній тенденції розвитку: людство досягло значних успіхів у створенні і застосуванні потужних засобів видобутку облицювальних матеріалів, комплексів та ліній для обробки сировини, але воно катастрофічно відстало щодо забезпечення можливості автоматизованого оперативного керування гірничими роботами. Така проблемна ситуація викликана причиною, що головним чином зумовлена проявом невизначеності концептуального рівня, який визначає методологічну основу розвитку проблеми визначення виходу блоків шляхом проб та помилок. Створення загальних умов вирішення цієї проблемної ситуації пов'язується з розвитком інформатизації [1]. На передбачену перспективу, видобування облицювального каменю буде існувати як окремий сегмент гірничодобувної галузі промисловості. Це свідчить про необхідність розвитку специфічних для даної галузі знань, орієнтованих на засоби інформації.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Для оцінки технологічної придатності сировини, розв'язання питань проектування гірничих робіт та їх планування на певний календарний період необхідно мати дані про можливий теоретичний вихід блоків з масиву родовища, тобто знайти його потенційні можливості. Дослідженнями [2] ВО "Житомирнерудпром" визначено, що теоретичний вихід блоків цілком і повністю залежить від природної тріщинуватості й, насамперед, таких її показників, як неортогональність систем тріщин, кількість міжтріщинних відстаней з розмірами, меншими мінімально допустимих лінійних розмірів блоків, згідно із технічними вимогами до них, наявність мікро- і макротріщин тощо.

Існують декілька методів оцінки блочності родовищ облицювальних каменів, які щодо одних геологічних умов забезпечують досить точні результати визначення блочності, а до інших – лише в першому наближенні. Ці методи поділяються на декілька видів – статистичні, графоаналітичні, гірничо-геометричні, графо-статистичного моделювання, ймовірнісні, дослідного видобування, емпіричні, гранотектонічні.

Із статистичних методів вивчення тріщинної тектоніки і оцінки блочності найпоширеніший метод Белікова Б.П. [3], що ґрунтується на безпосередніх спостереженнях за тріщинами в кар'єрах та їх статистичному опрацюванні.

Із графоаналітичних методів оцінки теоретичного виходу блоків заслуговує на увагу метод Горбульова І.М. [4], пропонуваній для визначення процента виходу стандартного будівельного стінового каменю та фельзитового туфу. Викладений графоаналітичний метод вирізняється



простотою, однак має ряд недоліків. Системи тріщин, що складно перетинаються між собою, картуються на якійсь одній геометричній площині (горизонтальній чи вертикальній) і будуть достовірні лише для першого ряду випилюваних блоків. Метод придатний для кар'єрів видобування стандартних блоків, які випилюються каменерізальними машинами, і зовсім непридатний для кар'єрів облицювальних порід, оскільки блоки, що видобуваються, можуть варіюватися за об'ємом і зовнішніми розмірами.

Гірничотехнічні задачі краще за все розв'язувати за маркшейдерськими планами в ізолініях. Цій меті найповніше відповідає запропонований М.Т. Бакка [5], [6] гірничо-геометричний метод оцінки блочності та її геометризації, що ґрунтується на порівнянні об'ємів природного і вписаного в нього прямокутного блоків з урахуванням закономірностей розвитку тріщин у масиві. При цьому вимірюються і картуються всі тріщини окремої. Пластові тріщини вивчаються за керном. Недоліком цього методу є складність виконання вимірювання та картування всіх тріщин окремої масиву.

Враховуючи, що знання про параметри тріщинуватості у глибині масиву родовища блочного каменю випадкові, для оцінки блочності досить придатні методи теорії ймовірності, що й запропоновано Арсентьевим О.І. та Подойніковим С.П. [7], [8].

Існуючі методики визначення виходу блочної продукції базуються тільки на природній окремої та не враховують технологічні втрати сировини, які залежать від обраних технологічних рішень і які можна значно зменшувати в процесі видобування блоків.

### Ціль статті, постановка завдання

Ціль статті – розробка геоінформаційної системи моніторингу тріщинуватості інтрузивного масиву шляхом реалізації автоматизованого оперативного маркшейдерського контролю. Поставлена мета роботи досягається виконанням такого завдання – створення автоматизованої геоінформаційної моделі оперативного маркшейдерського контролю, що дозволить спрогнозувати та обґрунтувати технологічні рішення на кар'єрах облицювального каменю.

### Викладання основного матеріалу

#### Побудова оптимізаційної моделі геоінформаційної системи і обґрунтування шляхів її аналізу і реалізації

Для того, щоб правильно обрати технологію, комплексну механізацію необхідно точно розшифрувати тріщинну тектоніку родовища облицювального та будівельного каменю й правильно зрозуміти їх геологічну будову. На рис. 2 представлено модель, яка описує увесь комплекс заходів, що необхідні для цього, послідовність обробки вхідних даних і реалізацію результатів цієї обробки. Первинна інформація до системи поступає як з геологічного блоку, так і з блоку оперативної маркшейдерської інформації. В силу того, що вивчення геологічної будови проводиться за допомогою відомих геологічних досліджень, на ньому ми зупинятися не будемо. Дослідження ж тріщинної тектоніки виконуються за допомогою безпосередніх маркшейдерських вимірів і їх обробки. Параметри тріщин заміряються в кар'єрі й подаються на обробку до блоку моделювання геоінформаційної системи моніторингу тріщинуватості. Тобто на вході блок має для кожної тріщини два параметри: азимут простягання і кут падіння, а на виході ми повинні отримати візуалізовану інформацію про головні системи тріщин, їх морфологію, параметри полюсів систем тріщин, які у сукупності з геологічними даними дадуть уявлення про орієнтовний напрямок фронту гірничих робіт. Розв'язання задачі потребує покладення в основу роботи блоку моделювання геоінформаційної системи математичного апарату, який допускає оперування з формальними та неформальними процедурами, обробку різної за своєю природою інформації [10], [11].

У зв'язку з цим, знаючи мінімально допустимий обсяг даних для побудови такого математичного апарату на основі одного з методів вивчення тріщинної тектоніки, можна скласти алгоритм роботи модуля.

Графічно відображувати тріщинуватість можна шляхом складання роз тріщин, як це вперше було запропоновано Філіпом, а згодом – розвинено у Німеччині – Колосом, в Росії А.А. Полкановим, побудовою кругових діаграм й іншими способами. Кругові діаграми відображують усі

потрібні елементи для зображення тріщинуватості: азимут падіння, кут падіння і кількість замірів. Зона діаграми описана теорією проєкції Ламберта, що викладена в роботі [3].

*Алгоритм роботи модуля на основі метода побудови кругової діаграми*

1. Машинне уявлення заданих параметрів: множина тріщин визначена азимутом простягання і кутом падіння, яка описується двома масивами (обмеженість числа варіантів зумовлюється тим, що для побудови діаграми бажано мати  $\approx 200$  замірів тріщин);

$$A = \{\alpha_i\}, B = \{\beta_i\}, i = \overline{1..N_{mp}}, \quad (1)$$

де  $N_{mp}$  – кількість тріщин.

2. Візуалізація кругової діаграми за введеними маркшейдерськими замірами.

3. Переведення параметрів тріщин із полярної системи координат в Декартові.

$$\begin{aligned} x_i &= k_i \cdot \beta_i \cos \alpha_i \\ y_i &= k_i \cdot \beta_i \sin \alpha_i \end{aligned} \quad (2)$$

де  $k_i = \frac{1}{9}$  – сингулярний коефіцієнт методу.

4. Описання масиву точок, які являють собою вузли решітки, в яку вписана кругова діаграма в Декартових координатах:

$$\begin{aligned} x_u &= -10 + j \\ y_u &= 10 - i \\ i &= \overline{0..N_u}, j = \overline{0..N_u}, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $N_u = 20$  – кількість вузлів решітки.

5. Визначення належності вузлів решітки до кругової діаграми:

$$\text{if } (x_u^2 + y_u^2 \leq R^2) \text{ then } \{\text{точка} \in \text{колу, яке описує область діаграми}\}. \quad (4)$$

6. Розділення кругової діаграми на ділянки, які відповідають одному відсотку її загальної площі. Визначення щільності (масивності) кожного вузла, або елемента масиву точок, які лежать в межах кругової діаграми. Для кожного такого вузла  $\{x_u, y_u\}$  визначається симетрична точка масиву  $\{x_{u'}, y_{u'}\}$ , де:

$$\begin{aligned} x_{u'} &= x_u \left( \frac{2R}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2}} - 1 \right); \\ y_{u'} &= y_u \left( \frac{2R}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2}} - 1 \right), \end{aligned} \quad (5)$$

перевіряємо належність кожної тріщини наступним умовам:

$$\begin{cases} (x_p - x_u)^2 + (y_p - x_u)^2 \leq r^2 \\ (x_p - x_{u'})^2 + (y_p - x_{u'})^2 \leq r^2; \\ (x_p - x_u)^2 + (y_p - x_u)^2 \leq r^2 \\ (x_p - x_{u'})^2 + (y_p - x_{u'})^2 \leq r^2 \end{cases}, \quad (6)$$

де  $r = 1$ ,  $\{x_p, y_p\}$  – тріщина.

7. Дискретна оптимізація груп вузлів за їх масивністю:

*рес (N груп; поточна точка) цикл по вузлам, які лежать поряд {перевірка відповідності критерію масивності, якщо задовольняє {запис у групи; рес (N групи; точка)}}.*

8. Аналіз варіантів у групах та визначення точок, які характеризують максимуми систем тріщин на основі метода визначення центра мас статичної системи:



$$x_g = \frac{\sum_{i=1}^l x_i \cdot V_i}{\sum V_i};$$

$$x_g = \frac{\sum_{i=1}^l x_i \cdot V_i}{\sum V_i};$$

$$y_g = \frac{\sum_{i=1}^l y_i \cdot V_i}{\sum V_i};$$

$$l = 1..N_{gp}^g, \quad g = 1..N_{gp},$$
(8)

де  $N_{gp}^g$  – кількість тріщин в групі,  $N_{gp}$  – кількість груп.

9. Визначення належності отриманих максимумів до проєкції систем тріщин за Клоосом (рис. 1):

$$\begin{aligned} & \text{if } \begin{cases} \alpha_g = 60-120^\circ; 240-300^\circ \\ \beta_g = 60-90^\circ \end{cases} \text{ then (точка} \in \text{системі } Q) \\ & \text{if } \begin{cases} \alpha_g = 0-30^\circ; 150-210^\circ; 330-360^\circ \\ \beta_g = 60-90^\circ \end{cases} \text{ then (точка} \in \text{системі } S) \\ & \text{if } \begin{cases} \alpha_g = 0-360^\circ \\ \beta_g = 0-30^\circ \end{cases} \text{ then (точка} \in \text{системі } L) \\ & \text{if } \begin{cases} \alpha_g = 0-360^\circ; \\ \beta_g = 30-60^\circ \\ \alpha_g = 30-60^\circ; 120-150^\circ; 210-240^\circ; 300-330^\circ \\ \beta_g = 60-90^\circ \end{cases} \text{ then (точка} \in \text{системі } D) \end{aligned}$$

$$g = 1..N_{gp}.$$
(9)

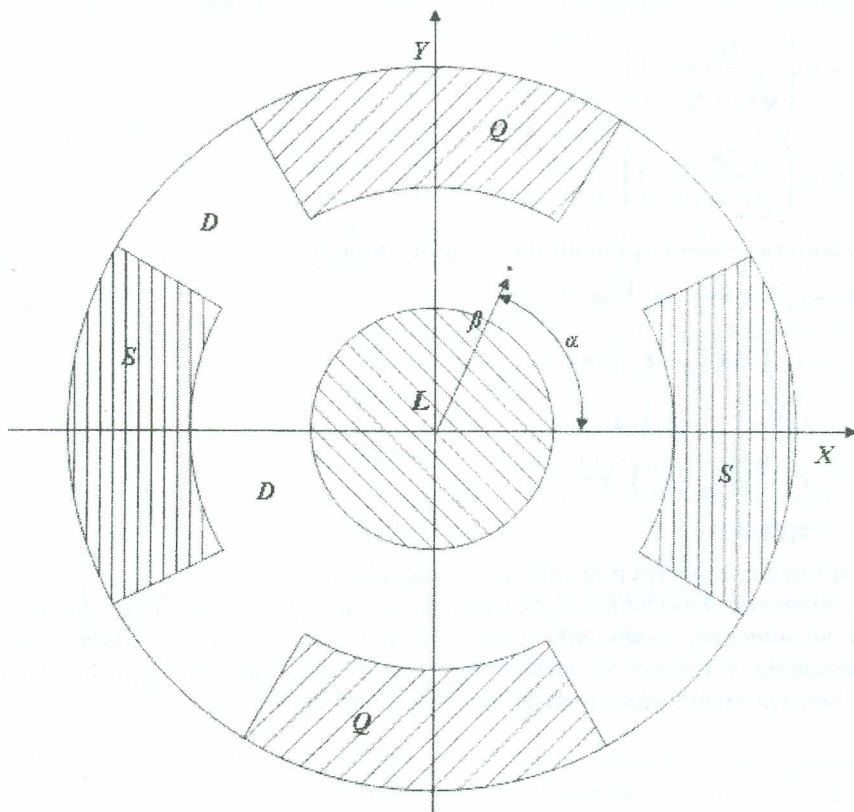


Рис. 1. Проєкції систем тріщин за Колосом на кругову діаграму

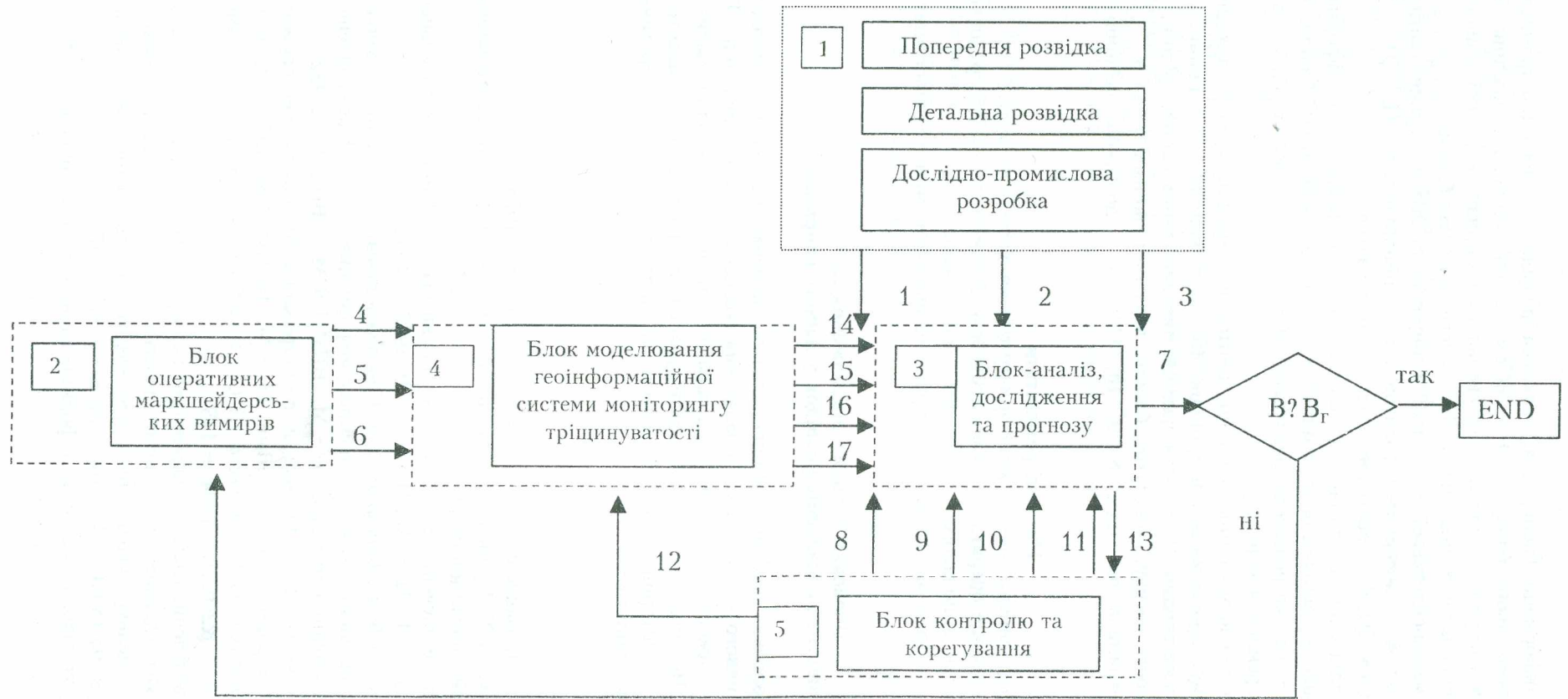


Рис. 2. Послідовність оптимізації технологічних рішень за допомогою геоінформаційної системи моніторингу тріщинуватості масиву

На рис. 2:

1 – блок геологічної інформації (попередня, детальна розвідка та дослідно-промислова розробка), вихідними даними цього блоку є: 1 – об'єм запасів корисної копалини, 2 – геологічна будова покладів (потужність пухкого та скельного розкриття, корисної копалини, тектонічні порушення, група складності родовища), 3 – геологічний вихід блоків;

2 – блок оперативної маркшейдерської інформації (природна та штучна тріщинуватість), вихідними даними блоку є: 4 – поверхнева горизонтальна тріщинуватість (L, D), 5 – вертикальна тріщинуватість (S, Q), 6 – просторова модель тріщинуватості;

3 – блок аналізу і дослідження геологічної та оперативної маркшейдерської інформації, прогнозу технологічних рішень, вихідними даними є: 7 – промисловий вихід блоків, 8 – напрямок фронту робіт, 9 – система розкриття родовища, 10 – система розробки родовища, 11 – спосіб підготовки та відокремлення моноліту;

4 – блок моделювання геоінформаційної системи моніторингу тріщинуватості, вихідними даними блоку є: 14 – азимут простягання і-ої тріщини, 15 – кут падіння і-ої тріщини, 16 – полюс простягання і-ої системи тріщин, 17 – полюс падіння горизонтальних систем тріщин;

5 – блок контролю якості масиву, монолітів, блоків, вихідними даними блоку є – 12 – штучна тріщинуватість (отримана внаслідок 8, 9, 10, 11), 13 – додаткові несприятливі геологічні умови.

### Наукові результати

Створена модель геоінформаційної системи моніторингу тріщинуватості дозволяє:

- проводити автоматизований оперативний маркшейдерський контроль стану інтрузивного масиву за допомогою апаратури дипольного індуктивного профілювання;
- своєчасно скорегувати виробничі показники за рахунок аналізу і зміни технологічних рішень.

### Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розвідок у даному напрямку

При проектуванні розробки кар'єрів облицювального каменю необхідне узгодження тріщинної тектоніки інтрузивного масиву та умов залягання покладів корисної копалини. Тому перспективними будуть дослідження в напрямку узагальнення тріщинної тектоніки масиву та умов залягання покладів. Це можливо за умови застосування комплексу, що складається з геоінформаційної системи моніторингу тріщинуватості та автоматизованого оперативного маркшейдерського контролю стану масиву.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978.
2. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Санкт-Петербургский горный институт. – СПб., 1997. – 428 с.
3. Беликов Б.П. О методе изучения трещинной тектоники месторождений строительного и облицовочного камня. – М.: Изд. Ак. Наук СССР, 1953. – 40 с.
4. Рогатин Н.Н., Сиренко В.Н., Гайдуков Э.Э. Совершенствование техники и технологии добычи блоков природного камня: Экспресс-информация. // Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов. – М.: ВНИИЭСМ. – Вып. 1. – 1982.
5. Бакка Н.Т., Нижниченко А.Ф. Оценка и геометризация блочности месторождений гранитов.: Реферат. информ. – Сер. 7. – Вып. 11. – М.: ВНИИЭСМ, 1974. – С. 9–10.
6. Бакка М.Т., Кузьменко О.Х., Сачков Л.С. Видобування природного каменю: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 448 с.
7. Арсентьев А.И. Определение главных параметров карьера. – М.: Недра, 1976. – 213 с.
8. Подойников С.И. Исследование технологии добычи штучного камня на гранитных месторождениях с целью увеличения производительности карьеров: Автореф. дис...канд. техн. наук. 05.15.03 / Лен. горн. ин-т. – 1977. – 18 с.
9. Ферберн Х.В. Структурная петрология деформированных горных пород. – М.: Изд. иностр. лит., 1949.



10. Кондрашов В., Королев С. Matlab как система программирования научно-технических расчетов. – М.: Мир, 2002.
11. Гультяев А. MATLAB 5.3. Имитационное моделирование в среде Windows. – Корона принт, 2001.

КАЛЮЖНА Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- фізичні процеси видобування блочного каменю;
- геотехнології.

РОМАНЧУК Олег Валентинович – аспірант кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- геотехнології.

КОЗАК Олександр Володимирович – аспірант відділу № 3 «Моделювання динамічних систем» Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова НАН України.

Наукові інтереси:

- математичне та комп'ютерне моделювання;
- дослідження електротехнічних систем з розподіленими та змінними параметрами.

Подано 23.09.2004