

## СЕКЦІЯ 2: ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, МЕРЕЖІ ТА КЕРУВАННЯ НИМИ

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ

<sup>1</sup>Боднарчук С. В., к.ф.-м.н., доцент, <sup>2</sup>Тесельська В. О., учениця

<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей; <sup>2</sup>Сквирський академічний ліцей Сквирської міської ради Київської області

**Вступ.** Після початку повномасштабного вторгнення російської федерації електроенергетика України зазнала значних ушкоджень. Наслідком цього стали довготривалі блекаути, які призвели до збитків в економіці України, ускладнили надання необхідної медичної допомоги в закладах охорони здоров'я, спричинили підвищену тривожність та стреси серед населення тощо. Виникає питання: яким чином потрібно розбудовувати енергетичну систему, щоб вплив зовнішніх руйнівних чинників на неї був мінімальним?

**Мета роботи.** Побудувати математичну модель, за допомогою якої можна проаналізувати стійкість енергосистеми до впливу зовнішніх руйнівних чинників.

**Матеріали і результати досліджень.** Об'єднана енергетична система України загалом налічує близько 50 виробників електроенергії великої потужності (100МВт та вище), більше 200 тисяч електропідстанцій різного типу, також загальна довжина ліній електропередачі всіх класів напруги перевищує 1 млн. км. [1, 2]. Для опису такої складної системи об'єктів та зв'язків між ними доцільно використовувати теорію графів [3]. В подальшому ми будемо розглядати енергосистему, що містить наступні об'єкти:

1) ● – виробники електроенергії (АЕС, ТЕС та ТЕЦ, ГЕС, вітряні та сонячні електростанції тощо). Припускаємо, що вони електроенергію *лише виробляють* та віддають її в загальну мережу.

2) ● – електропідстанції. Для простоти не розділяємо їх за потужністю (пропускною здатністю). Припускаємо, що вони електроенергію *лише передають* далі по мережі.

3) ● – споживачі. Припускаємо, що вони електроенергію *лише споживають*.

Всі ці об'єкти поєднуються між собою лініями електропередачі  $\rightarrow$ . Такий набір елементів (та зв'язків між ними) можна зобразити за допомогою *орієнтованого графа*.

Вважаємо, що енергосистема справно працює, якщо до кожного споживача (●) є маршрут, що проходить по лініям електропередачі ( $\rightarrow$ ), принаймні від одного

виробника (●). І чим більше таких маршрутів існує (для кожного споживача), тим більш стійкою є система відносно до зовнішнього впливу (пошкодження електропідстанцій, ліній електропередачі тощо).

Як було зазначено вище, таким чином побудовану енергосистему можна зобразити за допомогою орієнтованого графа. Останній, в свою чергу, задається своєю матрицею суміжності (позначимо її  $A$ ), яка містить інформацію про кількість маршрутів довжини 1 від однієї вершини графа до іншої. Для знаходження кількості маршрутів довжини 2, 3 тощо, потрібно знайти відповідний степінь матриці суміжності  $A$ . Остаточно, для знаходження загальної кількості маршрутів довжини, що не перевищує деяке число  $m$ , потрібно розглянути суму порашованих матриць

$$S = A + A^2 + A^3 + \dots + A^m.$$

Визначати стійкість енергосистеми будемо для кожного споживача (●) окремо. Для цього обчислимо суму елементів матриці  $S$  в стовпчику, що відповідає споживачу (●), по рядках, що відповідають усім виробникам (●). Отримане значення буде дорівнювати загальній кількості маршрутів до вказаного споживача від усіх виробників. Чим більшим буде це число, тим більш захищеним вважається споживач від впливу зовнішніх руйнівних чинників.

**Висновки.** В даному дослідженні була побудована математична модель, за допомогою якої можна описати енергосистему, а також проаналізувати її стійкість до впливу зовнішніх руйнівних чинників (негода, стихійні лиха, умисне пошкодження тощо). Результати цієї роботи можуть бути використані при модернізації наявних електричних мереж, а також дозволять більш доцільно розподіляти обмежені матеріальні та фінансові ресурси.

#### Перелік посилань

1. Історія енергетики / Міністерство енергетики України. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.mev.gov.ua/storinka/istoriya-enerhetyky>
2. Список електростанцій України / Вікіпедія. Вільна енциклопедія. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Список\\_електростанцій\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_електростанцій_України)
3. Robin J. Wilson. Introduction to graph theory. NY: Academic Press, 1972. 168 p.