

# ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Останчук Ж.І., Зелінський В.Ц., Мадьяров В.В.

Вінницький державний технічний ун-т

ess@energo.vstu.vinnica.ua

*The technique of parameters change influence estimation on cost/performance ratio of electrical network subsystems and elements is suggested. The fractional factor experiment is taken as a base of research.*

Задачі розрахунку оптимальних режимів електроенергетичних систем (ЕЕС) традиційно спрямовані на визначення способів зменшення витрат палива, втрат потужності і енергії та забезпечення економічного розподілу потужностей в електричних мережах (ЕМ). Завчасне планування оптимальних режимів створює наявні відповідні умови для підвищення ефективності експлуатації ЕЕС.

Розрахунок, аналіз та визначення реалізацій щодо оптимальних режимів будуються на створених розрахункових моделях. Одним з важливих аспектів при формуванні моделі є вибір балансуєчого вузла. Для об'єднаних електричних систем з єдиною системою виробництва, транспортування, розподілу і споживання електроенергії вибір балансуєчого вузла майже не впливає на рівні напруг, але суттєво впливає на втрати потужності. На даний час ефективність режимів ЕЕС в експлуатації значною мірою пов'язана з купівлею-продажем електроенергії в середині окремих енергокомпаній, а також з взаєморозрахунками за транзити інших енергокомпаній. Тут важливо не тільки визначити оптимальний режим для електричних станцій і електричної системи, а й врахувати вплив і взаємовплив окремих станцій і транзитів на техніко-економічні показники.

Характерною особливістю роботи ЕЕС є її територіальна ієрархія, ділення на підсистеми, а також зв'язок з сусідніми енергосистемами. При цьому окрема ЕЕС отримує і передає активну  $P$  і реактивну  $Q$  потужності по міжсистемних зв'язках, тобто її електричними мережами передається транзитна потужність для інших систем і підсистем. При значних потоках міжсистемними зв'язками можливі перевантаження в паралельних лініях електропередачі, що викликає зниження запасу стійкості і навіть її порушення.

Інший аспект, якому приділяється все більше уваги при плануванні режимів у зв'язку з існуванням ринку електроенергії, пов'язаний з додатковими втратами активної потужності, що викликані контурними потоками потужності між системами і підсистемами. Контурні потоки є наслідком неоднорідності ЕЕС. Виникають вони, коли перетоки потужності між двома підсистемами  $A$  і  $C$  викликають додаткові потоки потужності в електричних мережах підсистеми  $B$  (див. рис. 1). Останні супроводжуються втратами потужності, виділити які з сумарних втрат в ЕЕС складно.

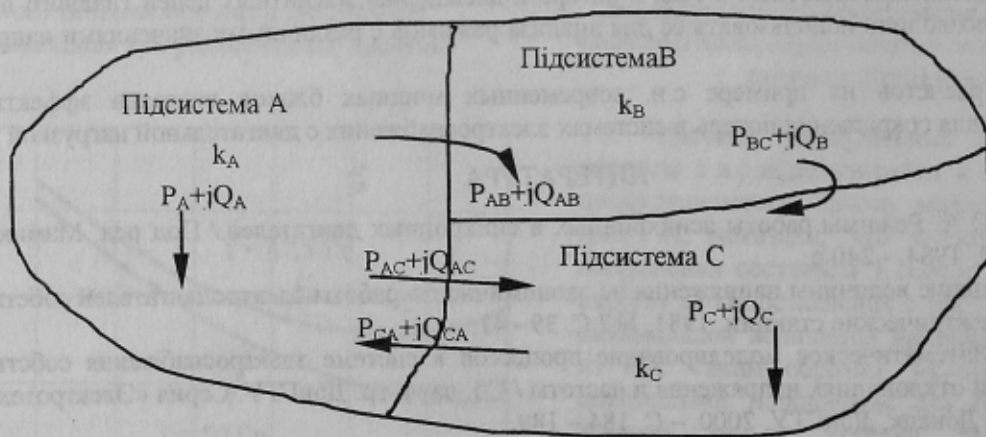


Рисунок 1 - Підсистеми електроенергетичної системи

Таким чином, сучасні задачі забезпечення оптимальних режимів ЕЕС розподіляють на такі:

- вибір джерел електроенергії та оптимізація їх режимів;
- вибір балансуєчого вузла для розрахункової моделі і визначення його впливу на втрати потужності;
- визначення взаємовпливу режимів систем і підсистем;
- визначення оптимальних умов існування режимів ЕЕС за графіком навантажень.

Для розв'язання перерахованих задач доцільно застосувати методи факторного експерименту [1], особливо на рівні планування режимів. Методи дозволяють враховувати режими роботи кожної станції з умов існуючих реальних обмежень, виду палива і його вартості. В залежності від кількості станцій і системних

підстанцій (джерел електроенергії) створюється план факторного експерименту, який може бути повним, дробовим з двома або множиною рівнів.

Для оцінки взаємовпливу окремих підсистем і визначення результируючих рекомендацій у взаєморозрахунках пропонується метод застосування теорії планування факторного експерименту на прикладі трьох підсистем, поданих на рис. 1. Цей випадок є типовим, має важливе значення при плануванні режимів ЕЕС і метод легко поширюється на випадки більшої кількості підсистем, енергокомпаній і окремих електричних станцій.

Для поданого прикладу керованими факторами будуть: потужність підсистеми А  $P_A$  і  $Q_A$  ( $P_A$  і  $Q_A$  можуть мати знаки "+" або "-" в залежності від балансу навантаження і генерування в підсистемі, потужності станцій при необхідності можуть виділятися окремо); потужність підсистеми С  $P_C$  і  $Q_C$ ; потоки потужності між підсистемами А і С  $P_{AC}$ ,  $Q_{AC}$ ,  $P_{CA}$  і  $Q_{CA}$ ; коефіцієнти трансформації трансформаторів підсистем  $k_A$  і  $k_C$ , до яких найбільш чутливі сумарні втрати активної потужності  $\Delta P_{\Sigma}$  усієї енергосистеми і втрати в підсистемі В  $\Delta P_B$ .

Слід зазначити, що для факторного експерименту саме  $\Delta P_{\Sigma}$  і  $\Delta P_B$  є відгуками на дію керованих факторів і використовуються для оцінки взаємовпливу і взаєморозрахунків. Для підсистеми В, яка може належати незалежній енергокомпанії, важливими є ще й такі відгуки як потоки потужності між сусідніми підсистемами А і С та коефіцієнти трансформації автотрансформаторів зв'язку, тобто  $P_{AB}$ ,  $Q_{AB}$ ,  $P_{BC}$ ,  $Q_{BC}$  та  $k_B$ . Особлива увага до останніх відгуків приділяється у випадку, коли незалежна енергокомпанія не приймає участі в угоді взаєморозрахунків між підсистемами А і С. Контурні ж потоки, які виникають через неоднорідність всієї енергосистеми призводить до завантаження ЛЕП у підсистемі В, а результатом є суттєве збільшення втрат потужності в ній.

Структура проведення повного факторного експерименту (ПФЕ) подана в табл. 1.

Таблиця 1- Матриця планування для дослідження потокорозподілу і втрат потужності

Номер досліджу	Керовані змінні										Відгук	
	$P_A$	$Q_A$	$P_C$	$Q_C$	$P_{AC}$	$Q_{AC}$	$P_{CA}$	$Q_{CA}$	$k_A$	$k_C$	$\Delta P_{\Sigma}$	$\Delta P_B$
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
2	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1		
3	-1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
4	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1		
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
N	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1		
Межі варіації	$P_{Amax}$	$Q_{Amax}$	$P_{Cmax}$	$Q_{Cmax}$	$-P_{ACпр}$	$-Q_{ACпр}$	$-P_{CAпр}$	$-Q_{CAпр}$	$k_{Amax}$	$k_{Cmax}$		
	$P_{Amin}$	$Q_{Amin}$	$P_{Cmin}$	$Q_{Cmin}$	$+P_{ACпр}$	$+Q_{ACпр}$	$+P_{CAпр}$	$+Q_{CAпр}$	$k_{Amin}$	$k_{Cmin}$		

В таблиці використані всі керовані фактори і найбільш інформативні з точки зору оцінки економічності режиму відгуки, тобто  $\Delta P_{\Sigma}$  і  $\Delta P_B$ . Межі варіації керованих факторів визначаються їх мінімальними і максимальними допустимими значеннями, або пропускну здатністю наведені в кодах. Для ПФЕ в запропонованому випадку кількість дослідів N значна:  $N=1024$ . Очевидно, що за таких умов проведення ПФЕ є невиправдано громіздким. Зменшення кількості дослідів без втрати потрібної точності здійснюється за рахунок оптимізації плану експерименту. В теорії планування експерименту існують різні підходи і методи створення дробних факторних експериментів (ДФЕ), які дозволяють отримати аналогічні з ПФЕ результати. Найбільш відповідним оптимальним планом факторного експерименту є ортогональний план [2], який застосовується для багатофакторних ситуацій в разі переходу до насиченого ДФЕ.

Для ортогонального плану коефіцієнти лінійної моделі (в нашій задачі  $v_i$  або  $w_i$ ) і їх статистичної оцінки визначаються за виразами [3]:

$$v_0 = \sum_{j=1}^{16} x_{0j} y_j / 16;$$

$$v_i = \sum_{j=1}^{16} x_{ij} y_j / (2^4 + 2\alpha^2), \quad i = \overline{1, m};$$

$$\sigma^2(v_0) = \sigma^2(y) / 16;$$

$$\sigma^2(v_i) = \sigma^2(y) / (2^4 + 2\alpha^2).$$



де  $x_{0j}$ ,  $x_{ij}$  – коди вільного члена та  $i$ -их факторів для кожного  $j$ -го дослід (згідно табл. 1 це керовані змінні);  $y_j$  – відповідний відгук у  $j$ -му досліді (в нашому випадку це  $\Delta P_{\Sigma}$  і  $\Delta P_B$ );  $\sigma^2(v_0)$ ,  $\sigma^2(v_i)$ ,  $\sigma^2(y)$  – дисперсії відповідного вільного члена, коефіцієнтів лінійної моделі та відгуку;  $\alpha$  – зіркове плече прийнятого ортогонального плану [2];  $m$  – кількість факторів.

Перехід від повного факторного експерименту до дробного є доцільним, якщо кількість керованих факторів  $m$  більше ніж чотири.

Проте незалежно від використання ПФЕ чи ДФЕ подальша схема для оцінки взаємовпливу між підсистемами буде такою:

- визначаються коефіцієнти лінійної моделі процесу взаємовпливу;
- створюється математичний опис для відгуків процесу взаємовпливу;
- здійснюється оцінка точності обраної моделі;
- формулюються рекомендації по взаєморозрахунках між підсистемами і енергокомпаніями.

Часто точність лінійної моделі розглянутого процесу є задовільною для практичних потреб. Проте, при необхідності уточнення слід враховувати взаємодію між окремими факторами і подавати модель у нелінійному вигляді.

Для оцінки втрат потужності в підсистемі В при зміні параметрів режиму в сусідніх підсистемах А і С пропонується математичний опис:

$$\Delta P_B^{AC} = v_0^B + v_P^A P_A + v_Q^A Q_A + v_P^C P_C + v_Q^C Q_C + v_P^{AC} P_{AC} + v_Q^{AC} Q_{AC},$$

де  $\Delta P_B^{AC}$  - додаткові втрати в підсистемі В при зміні режимів і обміну потужностями в підсистемах А і С;  $v_i^j$  - коефіцієнти моделі, що визначаються за результатами факторного експерименту;  $P_i$ ,  $Q_i$  - контрольовані потужності в підсистемах А і С.

Залежність коефіцієнтів трансформації автотрансформаторів зв'язку підсистеми В  $k_B$  від параметрів режиму підсистем А і С визначаються [4]:

$$k_B = w_0 + w_P^A P_A + w_Q^A Q_A + w_P^C P_C + w_Q^C Q_C + w_k^A k_A + w_k^C k_C.$$

З отриманих виразів можна зробити такі висновки:

- в залежності від величин коефіцієнтів створеної моделі визначаються найбільш впливові керовані фактори. Це означає, що є можливість визначити ті підсистеми, або ті електростанції, які є визначальними в процесі оптимізації режимів;
- отримана модель дозволяє визначити стратегію економічних розрахунків між підсистемами в залежності від запланованих графіків навантажень;
- для енергокомпанії, яка включає в себе всі підсистеми можна вибрати оптимальний план завантаження електричних станцій всіх підсистем в межах допустимих режимів.

Алгоритм проведення факторного експерименту на ЕОМ наведено на рис. 2.

Програма реалізації запропонованого методу згідно з наведеним алгоритмом здійснюється в складі програмного комплексу АЧП, розробленого на кафедрі електричних станцій та систем ВДТУ [5]. Формування розрахункової моделі ЕЕС, формування списку керованих факторів та плану експерименту здійснюються в графічному середовищі. При цьому використовується база даних і блок рекомендацій програмного комплексу АЧП.

Висновки.

Планування оптимальних режимів електричних систем суттєво залежить від режимів окремих підсистем і електричних станцій, які можуть належати різним енергокомпаніям. Взаємовплив і встановлені взаєморозрахунки між підсистемами можуть створити перешкоди процесу оптимізації режимів у всієї енергосистеми. Запропонований підхід на базі факторного експерименту надає стратегію планування оптимальних режимів за врахуванням взаємовпливу окремих підсистем, що в свою чергу додає об'єктивності отриманим рекомендаціям щодо оптимізації режимів ЕЕС.

Запропонований метод і алгоритм факторного експерименту реалізовані на ЕОМ. Проведення ДФЕ або ПФЕ з застосуванням стандартного програмного забезпечення і бази даних АСДУ ЕС дозволяє оцінити вплив на втрати потужності в підсистемі, яка досліджується, транзитних потоків, а також навантаження і генерації в сусідніх підсистемах і системах.

Планування оптимальних режимів включає в себе і визначення діапазону регулювання коефіцієнтів трансформації автотрансформаторів зв'язку. Запропонований підхід дозволяє уточнити рекомендації щодо уставок і регульованих діапазонів їх з врахуванням взаємовпливу підсистем ЕЕС.

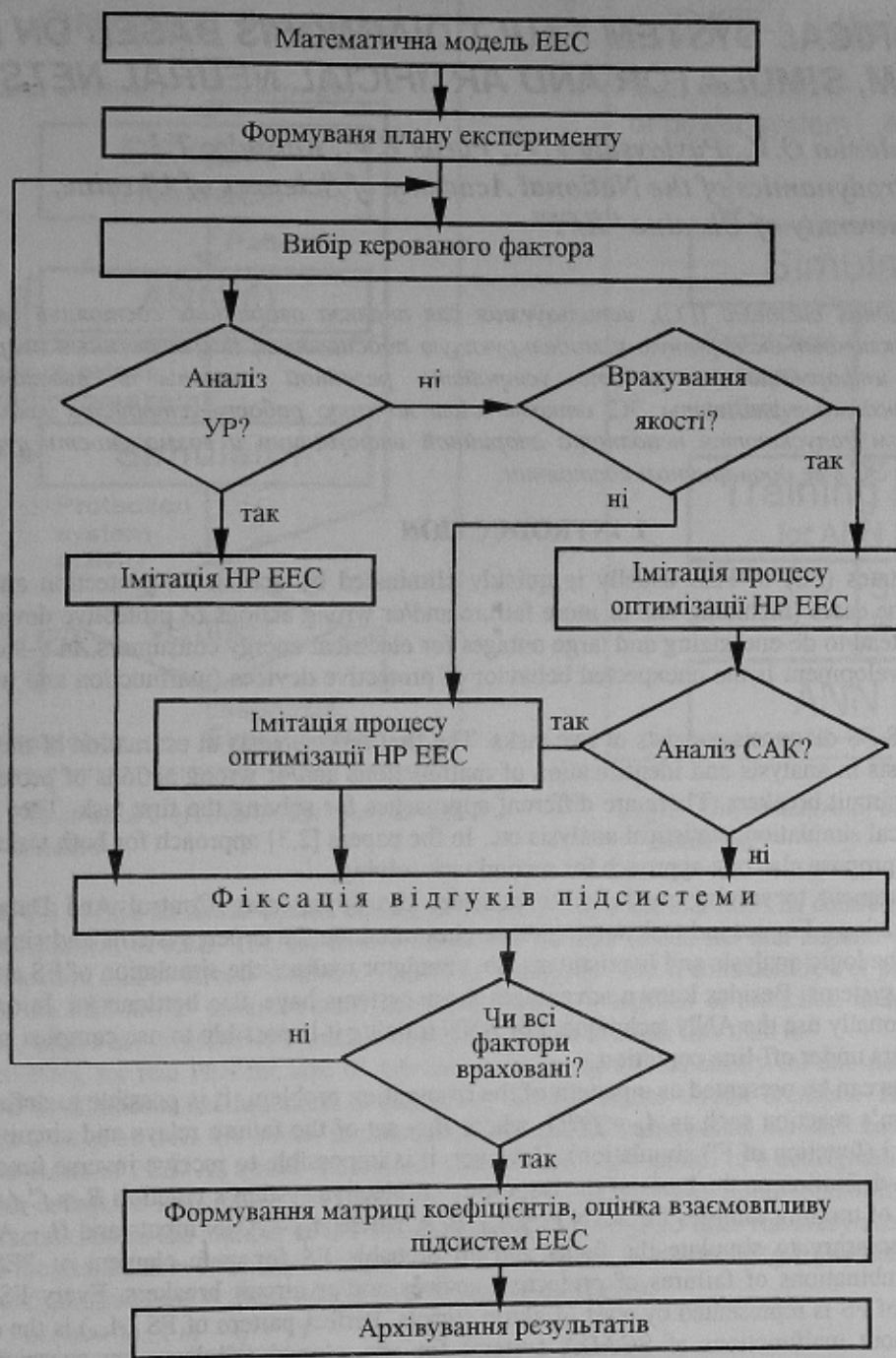


Рисунок 2 - Алгоритм факторного експерименту

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Математическая теория планирования эксперимента. /Под ред. С.М.Ермакова. – М.: Наука, 1983.- 392с.
2. Гусейнов Ф.Г., Мамедьяров О.С. Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики.- М.: Энергоатомиздат, 1988. -131с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
4. Лежнюк П.Д., Остапчук Ж.І., Аль-Омарі Закарія. Оцінка взаємовпливу регулюючих пристроїв при оптимальному управлінні режимом електричної системи // Вісник ВПІ. – 1994. - №2. – С.58-62.
5. Лежнюк П.Д., Лук'яненко Ю.В., Гайдамака В.М. Програмний комплекс аналізу чутливості та оптимізації втрат потужності в електричних системах // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. - №1. – С.5-11.