

# ЕФЕКТИВНИЙ РОЗПОДІЛ ПОЗАПЛАНОВИХ ЗАВДАНЬ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ АВТОМАТИЧНОГО ВТОРИННОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Нестерко А.Б., к.т.н., ст. викл., Паканич С.І., магістрант  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Частота є одним з найважливіших параметрів які контролюються і повинні бути в заданих межах для дотримання операційної безпеки об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Для цієї мети використовується первинне, вторинне і третинне регулювання [1]. Раціональна їх реалізація дозволяє не тільки зберігати номінальну частоту енергосистеми, а також може забезпечувати економне використання твердого палива. Оптимальне застосування гідроресурсів створює додаткові резерви генерації і екологічну безпеку водойм України.

**Мета роботи.** Об'єктом дослідження є розподіл генерації при автоматичному вторинному регулюванні частоти, предмет дослідження – методи розрахунку позапланових завдань потужності при вторинному регулюванні.

**Матеріали і результати досліджень.** У вторинному регулюванні частоти в енергосистемі беруть участь ТЕС, ТЕЦ, ГЕС. Для розподілу збільшення або зменшення генерації на учасників регулювання використовується пропорційний метод. Розрахунок виконується пропорційним діапазону наявного регулювання. Відповідно до коефіцієнта часткової участі  $\gamma_i$   $i$ -ї електростанції у вторинному регулюванні частоти позапланове завдання  $P_{nzli}$  на  $i$ -ту електростанцію [2] визначається як:

$$P_{nzli} = \gamma_i \cdot P_{nzl} \quad (1)$$

Коефіцієнт  $\gamma_i$  можна знайти як відношення значення максимально можливої зміни потужності  $i$ -ї електростанції  $P_{imax}$  до арифметичної суми поточних резервів вторинного регулювання на всіх станціях  $P_{\Sigma max}$ . Звідси виходить, що

$$P_{nzli} = \frac{P_{imax}}{P_{\Sigma max}} \cdot P_{nzl} \quad (2)$$

До переваг даного алгоритму розрахунку відноситься те, що на результат не впливають технологічні характеристики, як наприклад швидкість зміни потужності. Це вказує на рівномірність залучення до використання всіх видів генерації. Недоліком є те, що в даному алгоритмі не виконується врахування поточного стану використання гідроресурсів, а також функція мінімізації використання твердого палива.

Наприклад, використовуючи результати добового аукціону на ринку допоміжних послуг за 05.11.2021 з 03:00 до 04:00, при позаплановому завданні

потужності +235 МВт, відповідно формулі (1) розподіл між електростанціями за командами від центрального регулятора Курахівська ТЕС завантажиться на 70 МВт, Запорізька ТЕС – 54 МВт, Середньодніпровська ГЕС – 30 МВт, Каховська ГЕС – 35 МВт, Кременчуцька ГЕС – 19 МВт, Дніпровська ГЕС-2 – 27 МВт. В результаті в систему буде згенеровано сумарно додаткових 235 МВт для вторинного регулювання.

Даний спосіб розрахунку не враховує в якому стані знаходяться гідроелектростанції, а саме відмітки на водоймах Дніпровського і Дністровського каскадів ГЕС, який відображається в плановому добовому графіку виробництва електроенергії ПрАТ «Укргідроенерго» і враховує в першу чергу екологічні і технологічні особливості використання водних ресурсів. Якщо графік перевиконується, тоді потрібно заощаджувати гідроресурси, а якщо графік недовиконується потрібно навпаки більше залучати гідроелектростанції до регулювання частоти. Такий підхід допоможе раціонально і екологічно використовувати гідроресурси.

Концептуально у системі можуть бути дві ситуації за наявності чи відсутності умов. Умови перші: гідроресурси недопрацьовані, запаси твердого палива в нормі, або нижче планових. Другі умови: наявне припрацювання гідроресурсів, наявність твердого палива планова.

Для врахування даних умов при розподілі позапланової потужності виконана оптимізація наявного алгоритму в частині корекції характеристики, а саме величини наявного резерву яка впливає на пропорційний розподіл в сторону вибіркового збільшення в два рази (3, 4) залежно від виду генерації і поточної умови яка знаходиться в енергосистемі.

$$K_i = \begin{cases} P_{i\max} \cdot 2 \rightarrow \text{якщо } i\text{-та станція- ГЕС} \\ P_{i\max} \rightarrow \text{якщо } i\text{-та станція- ТЕС} \end{cases}, \text{ для умови 1} \quad (3)$$

$$K_i = \begin{cases} P_{i\max} \rightarrow \text{якщо } i\text{-та станція- ГЕС} \\ P_{i\max} \cdot 2 \rightarrow \text{якщо } i\text{-та станція- ТЕС} \end{cases}, \text{ для умови 2} \quad (4)$$

Оскільки під час такої оптимізації змінюється початкова характеристика – величина резерву, на іншу модифіковану, результат розрахованого значення може перевищувати резерв - максимально можливу зміну потужності  $i$ -ї електростанції. Аналогічно якщо виконується операція розвантаження. Тому повинна виконуватися умова (5):

$$\begin{cases} P_{нзпi} < P_{i\max} \\ P_{нзпi} > P_{i\min} \end{cases} \quad (5)$$

Результати проведення перерахунку  $P_{нзпi}$  для станцій які згадувалися в роботі раніше в залежності від наявних умов 1 або два наведенні таблиці 1. Також для порівняння в таблицю внесені результати розрахунків поточним методом – пропорційно діапазону.

Таблиця 1 – Результати розрахунку позапланових завдань потужності електростанцій класичним і оптимізованим методом за наявності типових умов 1 і 2

Станції	Вторинний резерв $P_{i\max}$ , МВт	Позапланове завдання $P_{\text{нзпл}}$ , МВт при $P_{\text{нзпл}} = 235$ МВт			
		Пропорційно діапазону		Оптимізований алгоритм	
		Умови 1	Умови 2	Умови 1	Умови 2
Курахівська ТЕС	128	70	70	47	91
Запорізька ТЕС	99	54	54	37	70
Середньодніпровська ГЕС	55	30	30	41	20
Каховська ГЕС	64	35	35	47	23
Кременчуцька ГЕС	35	19	19	26	13
Дніпровська ГЕС-2	50	27	27	37	18
<b>СУМА</b>	<b>431</b>	<b>235</b>	<b>235</b>	<b>235</b>	<b>235</b>

По рядку СУМА таблиці один, видно що сумарний діапазон вторинного регулювання на завантаження складає 431 МВт, а також сума прорахованих  $P_{\text{нзпл}}$  дорівнює величині  $P_{\text{нзпл}}$ . Хоч сума сходиться з заданою, величини  $P_{\text{нзпл}}$  відрізняються при різних способах розрахунку. Залежно від наявності умов 1 та 2, розрахунки оптимізованого алгоритм відрізняються, на відміну від класичного.

Розподіл між видами генерації представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Узагальненні результати розрахунків залежності від виду генерації

Вид генерації	Вторинний резерв $P_{i\max}$ , МВт	Позапланове завдання $P_{\text{нзпл}}$ , МВт при $P_{\text{нзпл}} = 235$ МВт			
		Пропорційно діапазону		Оптимізований алгоритм	
		Умови 1	Умови 2	Умови 1	Умови 2
ТЕС	227	124	124	84	161
ГЕС	204	111	111	151	74
<b>СУМА</b>	<b>431</b>	<b>235</b>	<b>235</b>	<b>235</b>	<b>235</b>

За умови 1, коли наявне недопрацювання водних ресурсів оптимізований алгоритм розподіляє на ГЕС 151 МВт, на відміну від класичного. Тут вже перевага оптимального оскільки  $151 > 111$ , що дасть позитивний ефект у наближенні до графіка використання гідроресурсів. З іншого боку на ТЕС за допомогою оптимального алгоритму розподілиться 84 МВт, а не 124 як в класичному, що дає ефект економії твердого палива на ТЕС.

За умови 2, коли в нас ГЕС вже перевиробляють свій плановий графік виробництва енергії, що може призвести до зменшення відміток водойм, а також резервів для генерації на наступні періоди класичний спосіб на ГЕС розподіляє 111 МВт, на відміну від оптимізованого в якого ця величини складає 74 МВт, що на 37 МВт менше.

В результаті при умовах 1 використовуючи оптимізований алгоритм показали, що в умовах перевиробітку ГЕС було зменшено їх сумарну генерацію на 33% відносно класичного способу, внаслідок чого теплова генерація збільшена в 30%. А в умовах 2, при наявності гідроресурсів, зменшення використання ТЕС склало 32% що однозначно призвело до економії твердого палива.

Таблиця 3 – Частка зміни потужності генерації по видах відносно класичного способу

	Умови 1	Умови 2
ТЕС	+ 29.8 %	- 32.3 %
ГЕС	- 33.3 %	+ 36 %

**Висновки.** Ефективне і раціональне використання ресурсів призводить до економії палива, гідроресурсів, дотримання екологічних норм і створення резерву генерації для подальшої роботи. Використання оптимізованого алгоритму розподілу позапланових завдань потужності, який використовує як критерій початковий діапазон кожної станції, корегує його в залежності від умов в яких знаходиться генерація збільшуючи його або не змінюючи його, а також з урахуванням максимально можливих змін потужності електростанції. Даний алгоритм показав свою ефективність під час розрахунку в порівнянні з класичним способом. За початкові умови були взяті резерви які були наявні в ОЕС України 05.11.2021 з 03:00 до 04:00 за двох типових станів теплової і гідрогенерації при її дефіциті чи профіциті. Позитивний ефект полягав у тому що при недовиробітку на гідроелектростанціях регулювання залучалося більшою мірою на них, це на 36% більше ніж класичним способом і в той же час розвантаження теплових складало 32%, що призводить до економії палива і наближення відміток водойм до нормальних величин. Зворотня ситуація спостерігається при наявності планових запасів палива і перепацьованих гідроресурсах. В такому випадку економія використання ГЕС 33%, а збільшення використання теплових на 29%.

#### Перелік посилань

1. Сідоров О.Ф. Роль частотних характеристик потужності в організації нормальних режимів електроенергетичної системи. К.: Видавничий дім «АртЕк» 2019. – 202 с.
2. О. С. Яндульський, А. О. Стелюк, М. П. Лукаш. Автоматичне регулювання частоти та перетоків активної потужності в енергосистемах: навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 88 с.