

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем

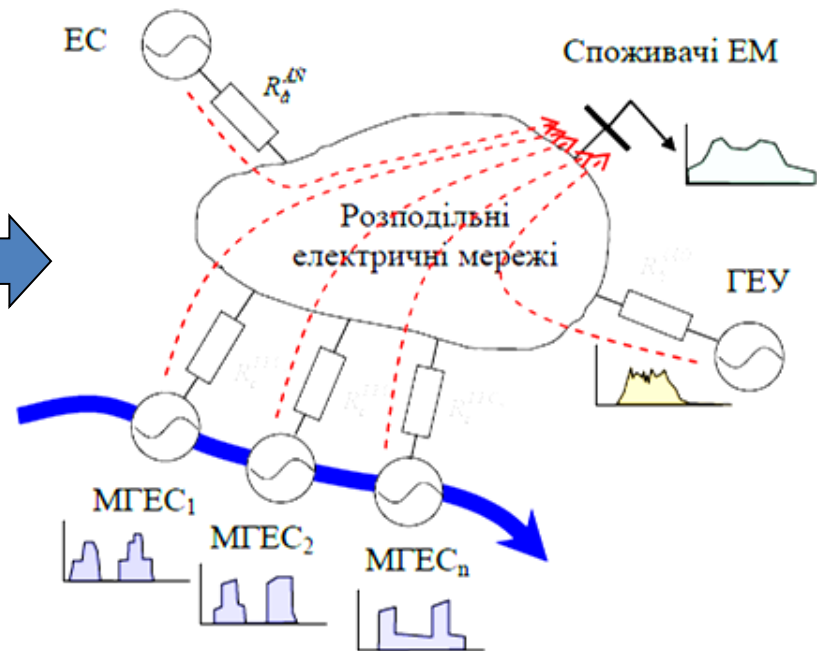
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЦЬ ПРИЄДНАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Виконав: студент 2 курсу ОППП магістра,
групи ЕСМ-18м
спеціальності
141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Лозовецький А.А.
Керівник: канд. техн. наук, доцент
Бурикін О. Б.

Задачі оптимізації режимів роботи розподільних електричних мереж з РДЕ²



Централізоване електропостачання
від крупних електричних станцій



Розподільні електричні мережі з
розосередженими джерелами енергії

Методи оптимізації місць приєднання РДЕ в розподільних мережах

Метою роботи є підвищення ефективності роботи розподільчих електричних мереж з РДЕ за рахунок оптимізації місця їх приєднання та залучення засобів автоматичного керування

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі:**

- – аналіз відомих методів оптимізації функціонування електричних мереж з розосередженими джерелами енергії;
- – аналіз проблем формування інтелектуальних електричних мереж;
- – розроблення методу оптимізації місць приєднання розосереджених джерел енергії розподільних електричних мереж Smart Grid;

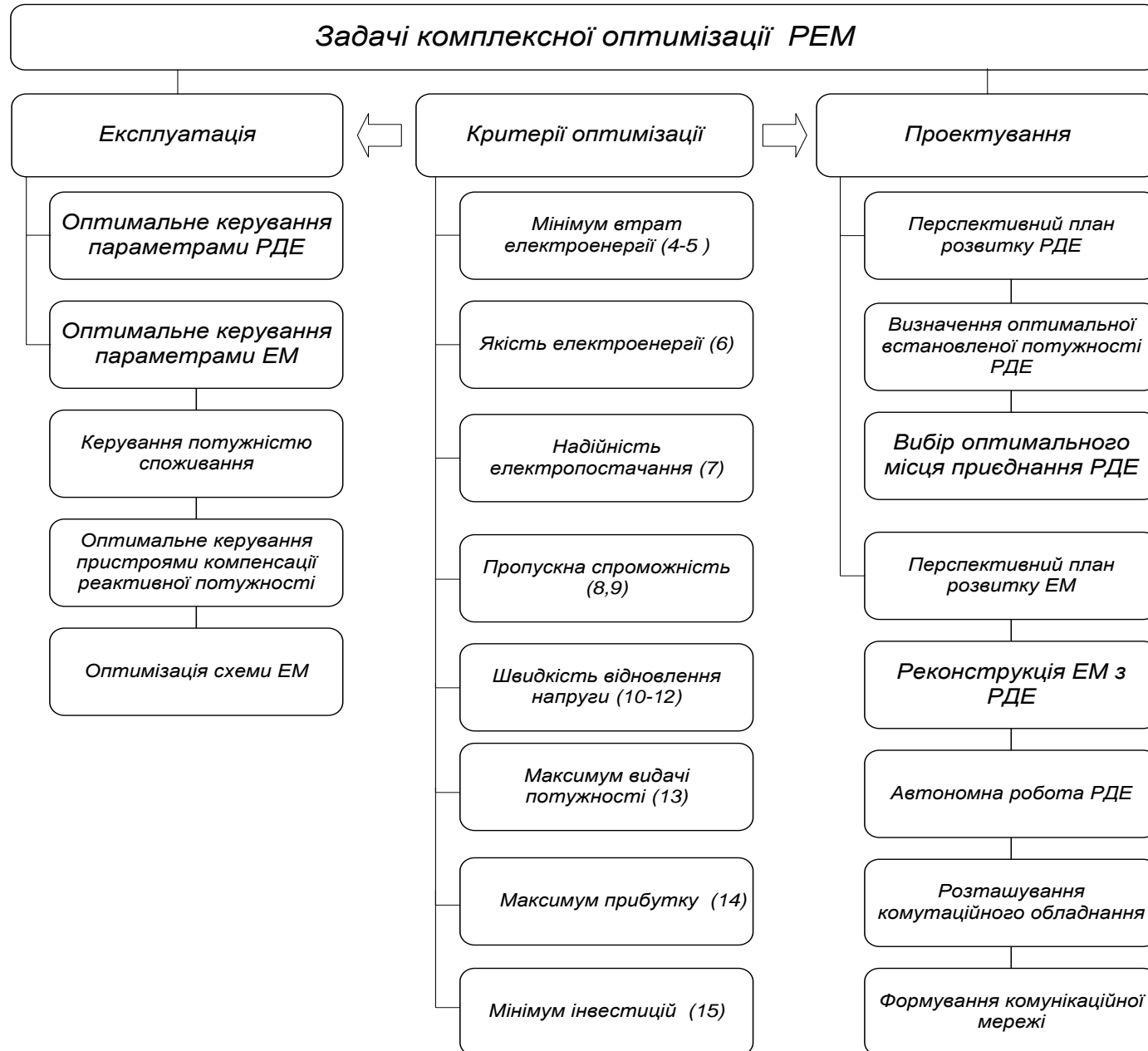


Порівняльна характеристика показників якості електричної енергії

Показник	Вимоги відповідно до нормативного документу			
	IEEE 1547	ГОСТ 13109-97	Проект приєднання Україні	вимог РДЕ в Стандарти Німеччини
Відхилення частоти	Допустиме відхилення частоти в РДЕ не повинне перевищувати в синхронізованих системах значення від -0,2 до +0,5Гц.	Відхилення частоти в синхронізованих системах електропостачання не повинне перевищувати $\pm 0,2$ Гц; в ізольованих системах електропостачання відхилення складає ± 1 Гц.	Частота повинна знаходитись в діапазоні від 49,6 (гранично допустиме зниження частоти) до 50 Гц (нормально допустиме підвищення частоти).	Частота повинна знаходитись в діапазоні від 47,5(гранично допустиме зниження частоти) до 51,5 Гц
Гармоніки	Максимальна гармонічна складова струму складає 4% для непарних гармонік $n \leq 11$.	Значення гармонічної складової напруги знаходиться в межах від 0,2 до 6% від $U_{ном}$.	Значення гармонічної складової напруги знаходиться в межах від 0,2 до 6% від $U_{ном}$.	Максимальна гармонічна складова струму складає 0,058 – 0,04%, для непарних гармонік 0,06 – 0,18. %
Відхилення напруги	Відхилення напруги на шинах РДЕ в нормальних робочих умовах не повинне перевищувати значення від -12 до +10 %.	Нормально допустиме відхилення напруги – $\pm 5\%$. Гранично допустиме – $\pm 10\%$.	Нормально допустиме відхилення напруги – $\pm 5\%$. Гранично допустиме – $\pm 10\%$.	В електричних мережах відхилення напруги на шинах РДЕ складає не більше 2%.

Аналіз задач оптимізації місць приєднання РДЕ

Критерії оптимізації	
Якість електроенергії	$\min f_U = \sum_{i=1}^n \left U_i - U_{i, безВДЕ} \right + \sum_{j=1}^m k_{1_j} \cdot \max(0, (K_{\Gamma i} - K_{\Gamma \max})) +$ $\sum_{j=1}^m k_j \cdot \max(0, (P_j^{зВДЕ} - P_j^{безВДЕ})) + \sum_{i=1}^n k_{2_i} \left[\max(0, (U_i^{\min} - U_i)) + \max(0, U_i - U_i^{\max}) \right]$
Надійність електропостачання	$MaxF = Benefit^{ВДЕ} = \frac{(1 + \rho)^N}{(1 + \rho)^N + 1} \cdot \left[K_{ВДЕ} \cdot T_{\max} \cdot (\Delta P_{вмп}^{ВДЕ} + W_{ВДЕ}) + (CIC^0 - CIC^{ВДЕ}) \right],$
Мінімум втрат електроенергії	$\min F_{вмп} = \min C_2 \sum_{i=1}^{N_{линій}} P_{вмп_i},$
Мінімум інвестицій	$\min F_{інвесст} = \min \sum_{j=1}^{N_{РДЕ}} (1 - \beta) \cdot C_j \cdot P_{jРДЕ},$



Комплексна задача оптимізації місць приєднання розосереджених джерел енергії у розподільних електричних мереж

Вираз для визначення сумарного прибутку від експлуатації РДЕ приєднаних на паралельну роботу у РЕМ можна записати таким чином:

$$\Pi_{PDE} = \sum_{i=1}^n u_i \cdot P_{PDE_i} \cdot k_{e_i} \cdot T \quad (1)$$

u_i – тариф на виробництво електроенергії i -м РДЕ («зелений тариф»), коп./кВт*год;

P_{PDE} – встановлена потужність i -го РДЕ;

k_{e_i} – коефіцієнт використання встановленої потужності i -го РДЕ;

T – тривалість графіка навантажень.

Цільову функцію задачі оптимізації місць приєднання розосереджених джерел енергії в РЕМ пропонується представити так:

$$\Pi = \Pi_{PDE} \cdot e^{-(1-k_1 \cdot \bar{P}(U_y, T))} \cdot e^{-(1-k_2 \cdot \bar{P}(\Delta W_n, T))} - \Pi_{P_{ep}} - \Pi_{P_n} \rightarrow \max \quad (2)$$

де $\bar{P}(U_y, T)$ – імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги для заданого звітного періоду;

$\bar{P}(\Delta W_n, T)$ – імовірність забезпечення нормативних втрат електроенергії;

k_1, k_2 – вагові коефіцієнти, використання яких дозволяє змінювати вплив показників якості напруги на результати оптимізації;

$\Pi_{P_{ep}}, \Pi_{P_n}$ – штрафні функції, введені в цільову функцію Π для врахування обмежень типу нерівностей за втратами активної потужності та пропускною здатністю РЕМ.

Імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги для заданого звітного періоду

Відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення напруги δU_y . Воно являється наслідком добових, сезонних і технологічних змін електричних навантажень споживачів, а також потужності компенсуючих пристроїв, регулювання напруги генераторами електростанцій і на підстанціях енергосистем, зміни схеми електричних мереж.

Відхилення напруги δU – це різниця між фактичним U_f та номінальним U_n значеннями напруги:

$$\delta U_y = U - U_{\text{ном}}$$

або у відсотках:

$$\delta U_y = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} 100$$

Розраховують значення усередненої напруги U_y (В, кВ) як результат усереднення N спостережень напруг $U(i)$ за інтервал часу 1 хв (за хвилину не менше 18 спостережень):

$$U_y = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2}}{N}$$

Ймовірність забезпечення нормативного відхилення напруги:

$$\overline{P}(U_y, T) = \frac{t(U_y \pm 5\%)}{T} \quad (3)$$

$t(U_y \pm 5\%)$ час коли значення усередненої напруги знаходилось у допустимих межах

Імовірність забезпечення нормативних втрат електроенергії для заданого звітнього періоду

Використання цільової функції до задачі оптимізації місць приєднання розосереджених джерел енергії у розподільних електричних мереж передбачає розрахунок імовірності забезпечення нормативних втрат електроенергії. В залежності від повноти інформації про навантаження елементів електричної мережі за розрахунковий період для розрахунків навантажувальних втрат розподільних мереж 10 кВ можуть використовуватись наступні методи:

1. Методи, в яких використовують кількість годин найбільших втрат τ :

$$\Delta W_n = \Delta P_{\max} \tau,$$

де ΔP_{\max} - втрати потужності в режимі максимального навантаження мережі.

2. Методи середніх навантажень, які використовують формулу

$$\Delta W_n = \Delta P_{cp} k_{\phi}^2 T,$$

де ΔP_{cp} - втрати потужності в мережі при середніх навантаження вузлів (або мережі в цілому) за час T ;

k_{ϕ} - коефіцієнт форми графіка потужності або струму.

Ймовірність забезпечення нормативного відхилення втрат електроенергії:

$$\overline{P}(\Delta W_n, T) = \frac{t(\Delta W_{\pm 5\%})}{T} \quad (4)$$

$t(\Delta W_{\pm 5\%})$ - час коли значення втрат електроенергії знаходилось у допустимих межах

Схема електричних з'єднань Цекинівської СЕС №1 ЗЕА «Новосвіт»

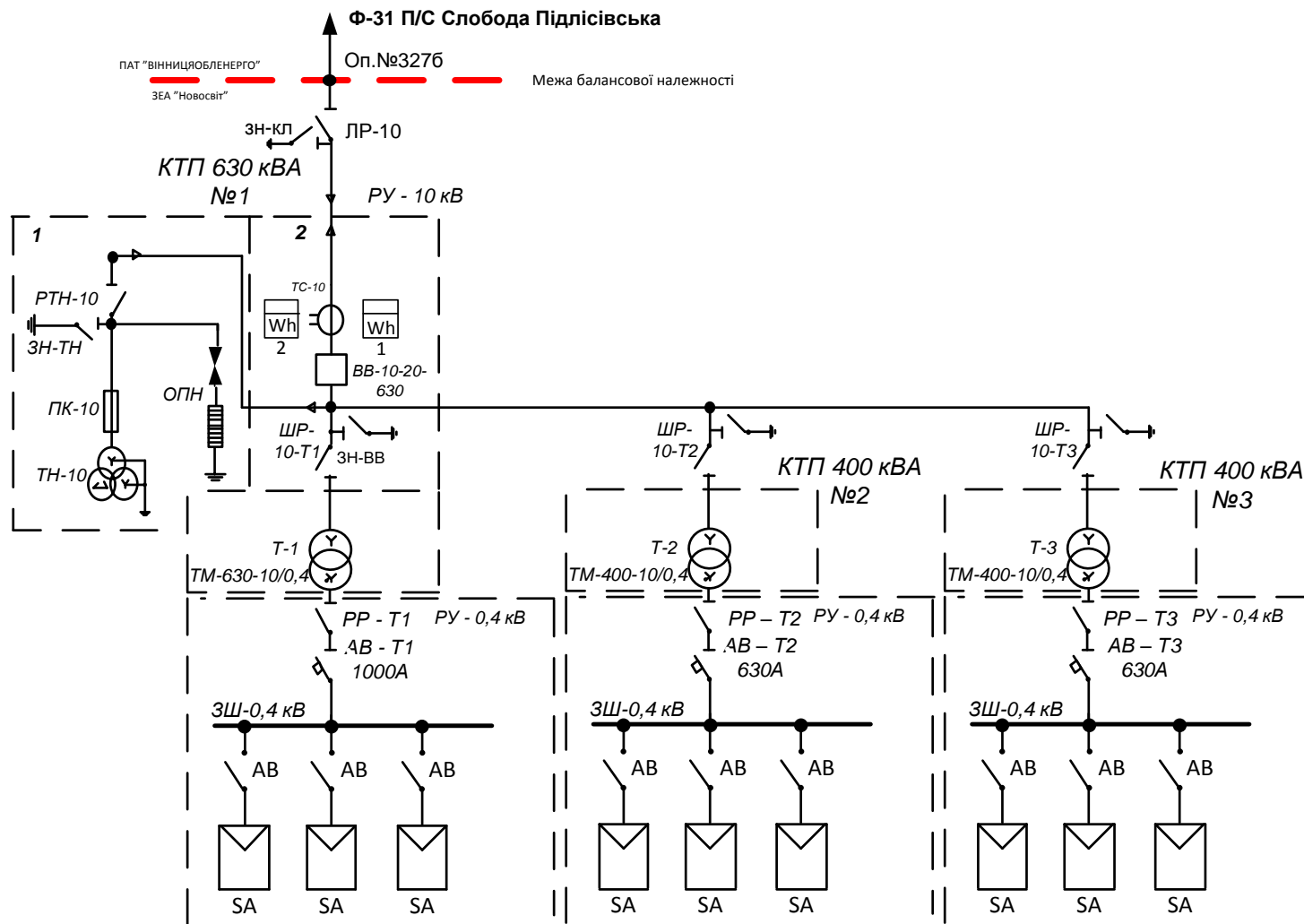
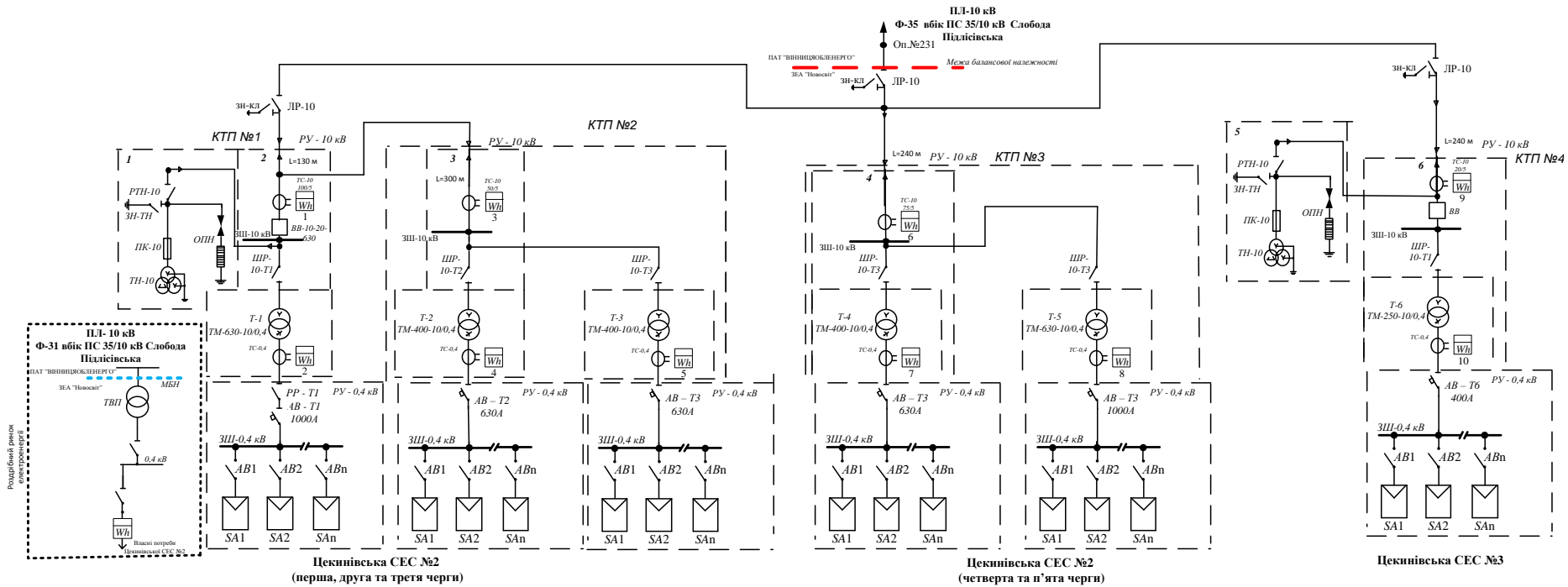
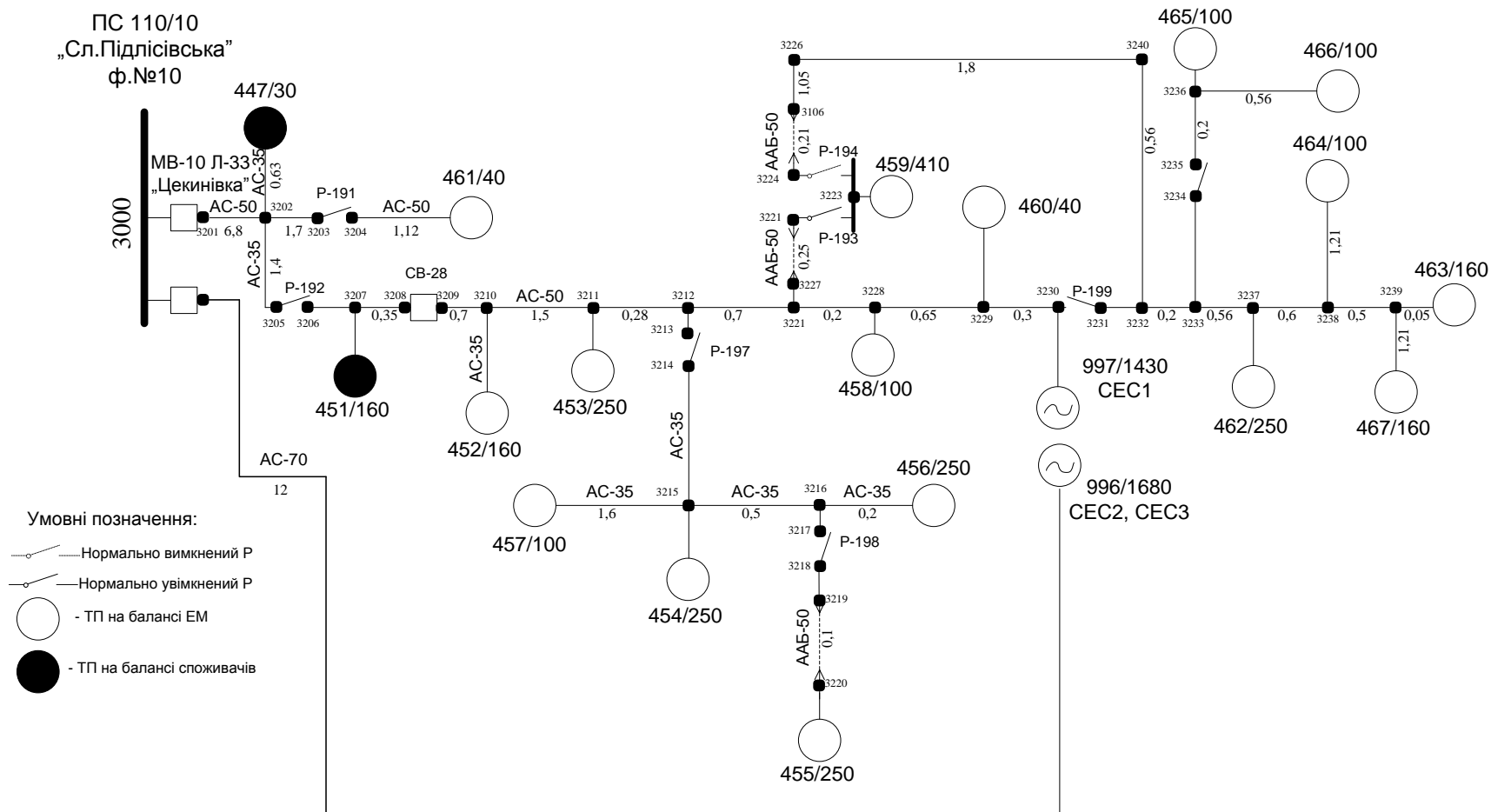


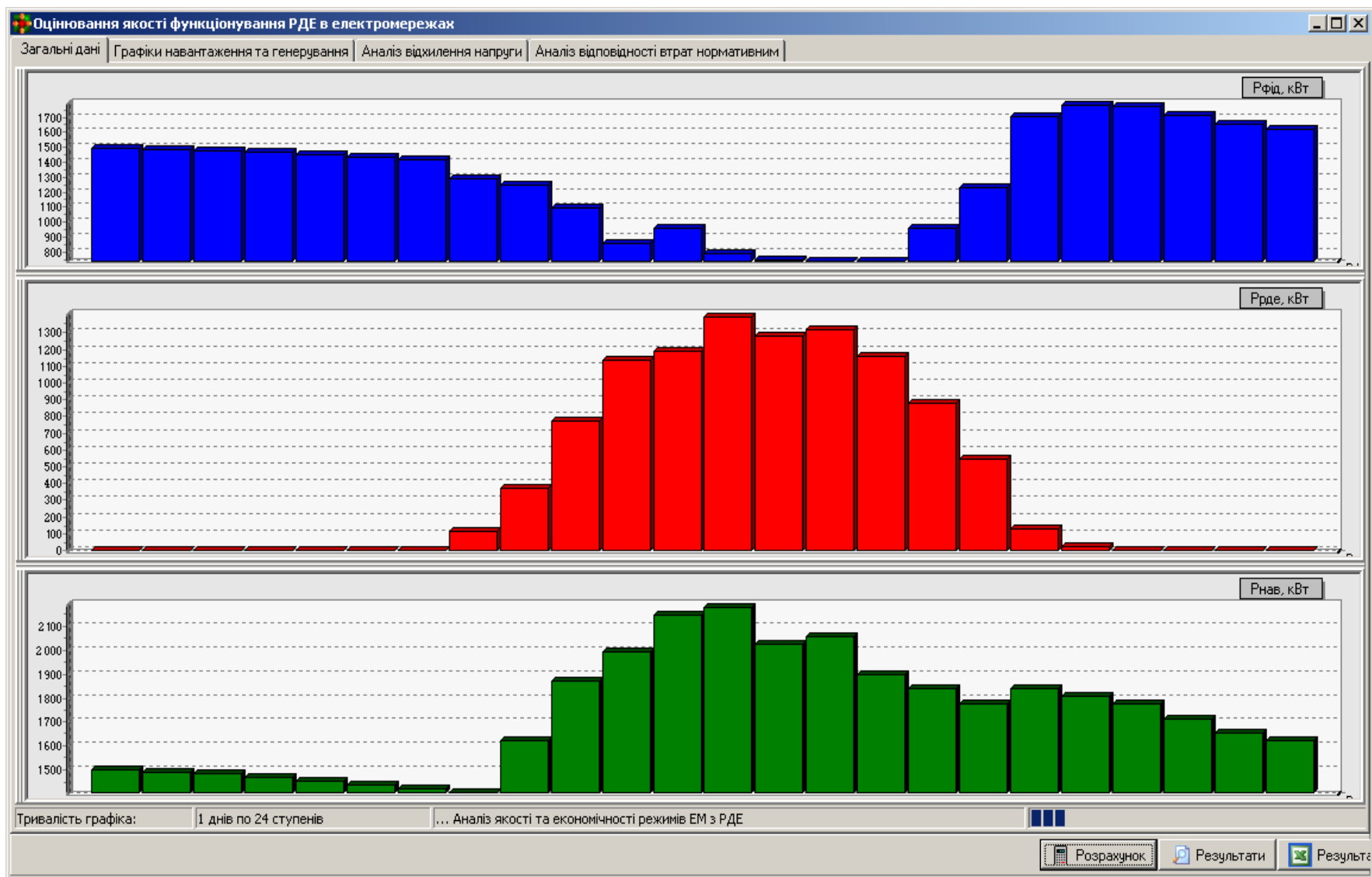
Схема електричних з'єднань Цекинівської СЕС№2 та №3 ЗЕА «Новосвіт»



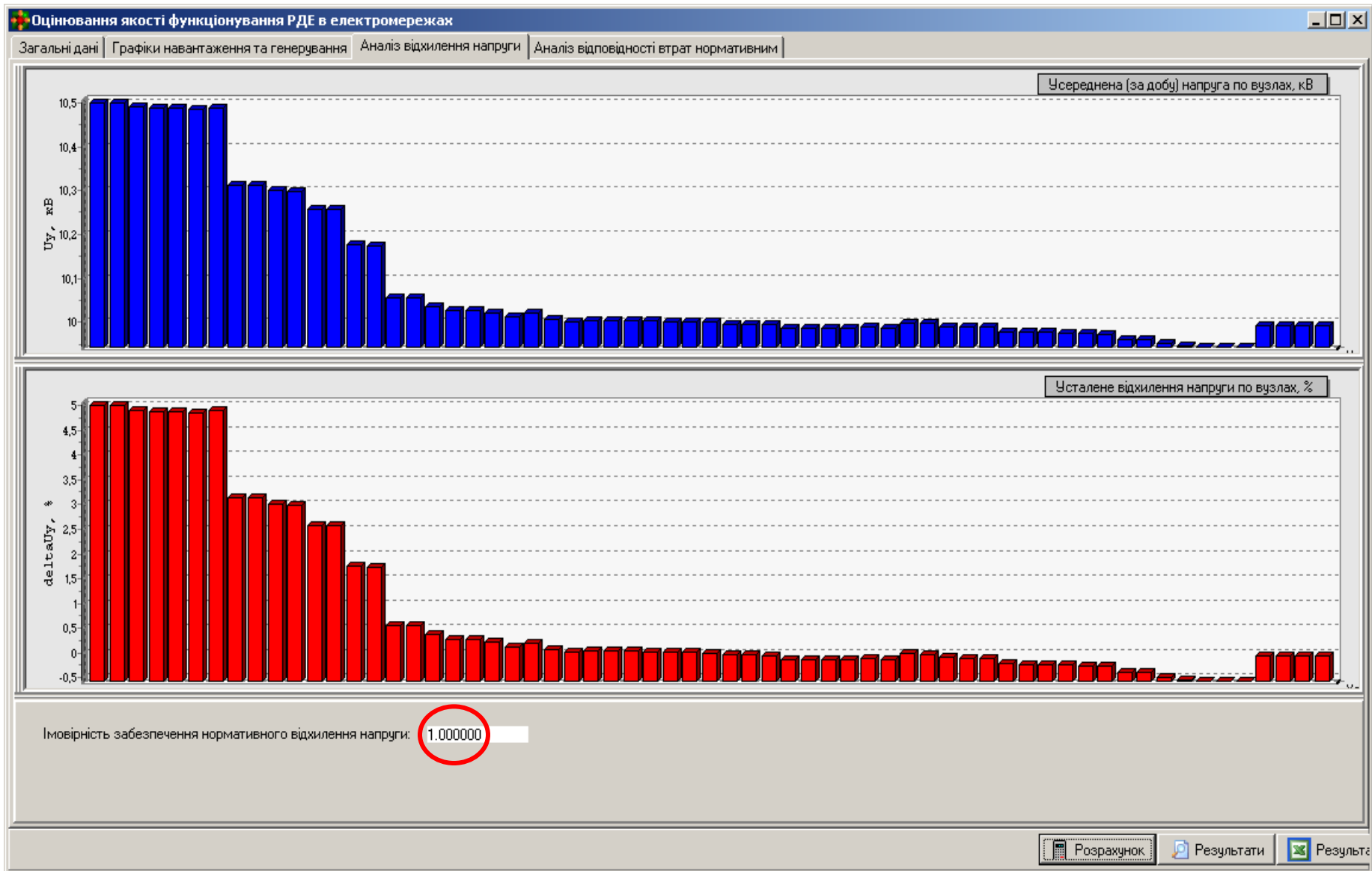
ПС 35/10 «Сл.Підлісівська» ф.№31 та ф.№35



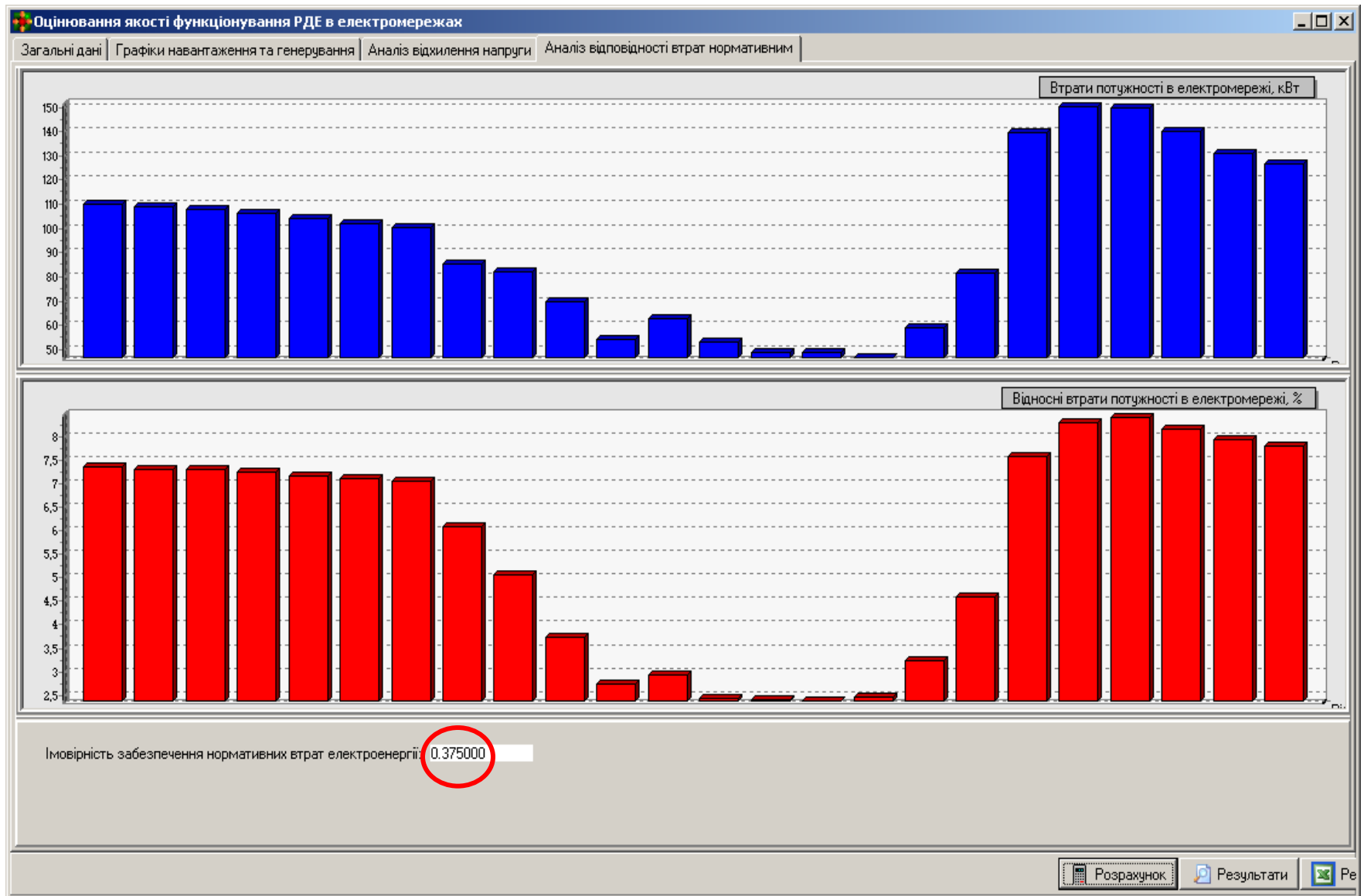
Загальні дані для розрахунку по ПС 35/10 «Сл.Підлісівська» ф.№31



Розрахунок ймовірності забезпечення нормативного відхилення напруги



Розрахунок забезпечення ймовірності нормативних втрат електроенергії



«Зелені» тарифи на електричну енергію, вироблену суб'єктами господарювання на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії

№ з/п	Енергогенеруючі компанії	«Зелені» тарифи без ПДВ, коп/кВт·год
1	2	3
1	Цекинівська СЕС	731,95
2	Цекинівська СЕС № 2 (1-3 черги)	731,95
3	Цекинівська СЕС № 2 (4-5 черги)	533,71
4	Цекинівська СЕС № 3	533,71

Визначення сумарного прибутку від експлуатації РДЕ на прикладі Цекинівської СЕС

Числове значення сумарного прибутку від експлуатації Цекинівської СЕС №1 приєднаної на паралельну роботу у Яміпльський РЕМ можна записати таким чином:

$$\Pi_{ВДЕ} = \sum_{i=1}^n u_i \cdot P_{ВДЕ_i} \cdot k_{\epsilon_i} \cdot T = 731,95 \cdot 1430 \cdot 0.8 \cdot 24 = 200964,192 \text{ грн.}$$

Цільова функцію задачі оптимізації місць приєднання розосереджених джерел енергії в РЕМ отримає таке числове значення:

$$\begin{aligned} \Pi &= \Pi_{ВДЕ} \cdot e^{-(1-k_1 \cdot \bar{P}(U_y, T))} \cdot e^{-(1-k_2 \cdot \bar{P}(\Delta W_n, T))} = \\ &= 200964,192 \cdot e^{-(1-1 \cdot 1)} \cdot e^{-(1-1 \cdot 0,375)} = 107568 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Таким чином, недотримання нормативних втрат потужності зменшує сумарний прибуток від експлуатації РДЕ на 50%.

Отримане значення сумарного прибутку може варіюватись залежно від значення вагових коефіцієнтів k_1 та k_2 . Значення цих коефіцієнтів можуть встановлюватись на базі експертної оцінки або техніко-економічного порівняння значимості втрат та якості напруги.

Визначення оптимального місця приєднання РДЕ за критерієм сумарного прибутку від його експлуатації на прикладі Цекинівської СЕС

Встановлена потужність		Сумарний прибуток	Імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги	Імовірність забезпечення нормативних втрат електроенергії	Значення цільової функції
Цекинівська СЕС №1, кВт	Цекинівська СЕС №2 та №3, кВт	$P_{ВДЕ}$, грн	$\bar{P}(U_y, T)$, в.о.	$\bar{P}(\Delta W_n, T)$, в.о.	C , грн
1430	1430+250	200964	1	0,375	107568
1430+250	1430	236097	1	0,4	129573
1430+650	1430-400	257177	1	0,416	143993
1430+1280	1430-1030	289500	0,91	0,4	143761

Як видно з результатів дослідження, оптимальним є приєднання потужності 2080 кВт до фідера №31 Слобода-Підлісівської підстанції.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто проблеми функціонування розподільних електричних мереж з розподіленими джерелами енергії, стан та загальну характеристику проблеми використання РДЕ.

Основні результати досліджень є такими:

1. Оскільки збільшення кількості РДЕ призводить до загострення технічних проблем з організації їх паралельної роботи в енергосистемі – забезпечення стійкості роботи, якості електроенергії, організації диспетчерського керування, у тому числі контролю відокремлення РДЕ від енергосистеми, синхронізації РДЕ з енергосистемою, то постає задача розробки єдиного стандарту. Цей стандарт буде регламентувати під'єднання на паралельну роботу РДЕ в Україні з урахуванням стратегії розвитку електричних мереж та перспектив впровадження технологій концепції Smart Grid у національну електричну мережу. Перехід до єдиного стандарту розширить можливості застосування РДЕ та можливості споживачів, а також покращить взаємодію всіх суб'єктів енергосистеми в режимі реального часу.

2. Аналіз досвіду розв'язання ряду задач оптимізації розподільних електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії різних країн дозволив виконати систематизацію розглянутих задач та дослідити можливості їх комплексного застосування для оптимізації режимів локальних електричних систем. У якості критеріїв оптимізації режимів РЕМ доцільно використовувати максимум прибутку від виробленої електричної енергії РДЕ, з урахуванням їх впливу на роботу ЕМ.

3. Важливим в досягненні ефективного використання РДЕ є правильний вибір місця їх під'єднання в електричній мережі. Оптимізація схеми приєднання розосереджених джерел електроенергії до електричної мережі зі співмірною сукупною потужністю навантаження повинна здійснюватися за результатами аналізу сумарного прибутку від експлуатації РДЕ приєднаних на паралельну роботу у РЕМ.

4. Розв'язок запропонованої задачі оптимізації місця приєднання розосереджених джерел енергії дозволить визначити оптимальне місце розташування та оптимальну встановлену потужність РДЕ у РЕМ за умов їх сумісної експлуатації. Функціональні обмеження враховуються штрафними функціями по втратах електроенергії та пропускній здатності РЕМ. Обмеження на параметри – у ітераційному процесі пошуку розв'язку. Цільова функція враховує показники якості електроенергії, недотримання яких різко віддаляє отриманий розв'язок від оптимуму функції.

Доповідь завершено, дякую за увагу.