

Магістерська кваліфікаційна робота
на тему:
**“Підвищення балансової надійності електричних мереж
з фотоелектричними станціями ”**

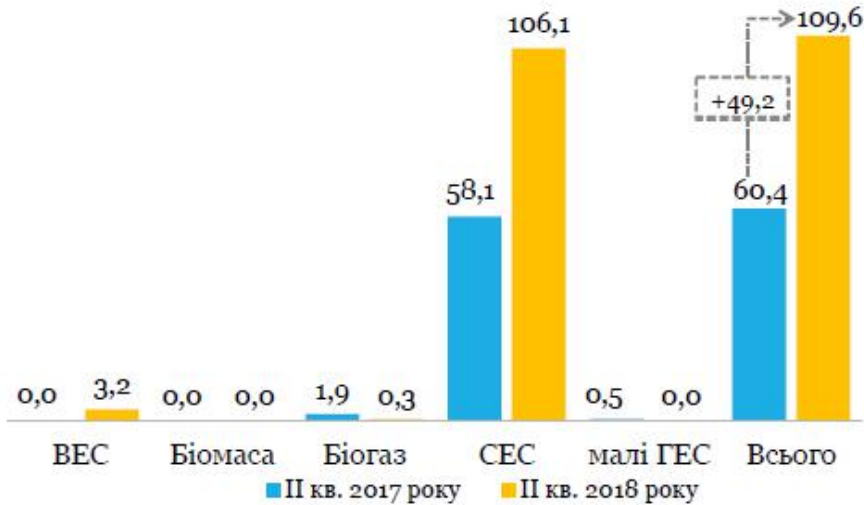
Виконав: студент 2 курсу ОППП магістр,
групи ЕС-17м **Абакаров Ш.А.**

Керівник: к.т.н., ст.викл., каф. ЕСС
Кравчук С. В.

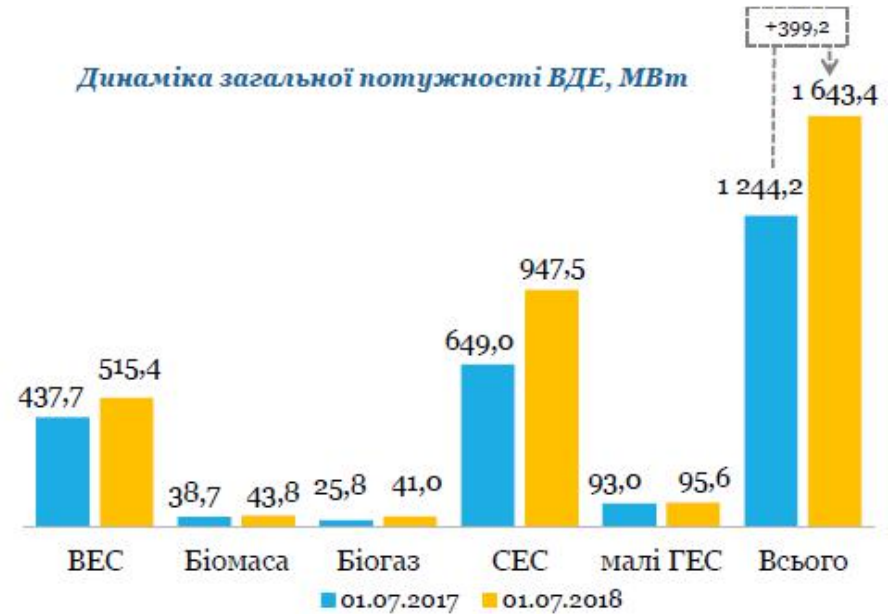
Вінниця 2019 рік

Актуальність теми дослідження

Динаміка введення в експлуатацію нових потужностей, МВт



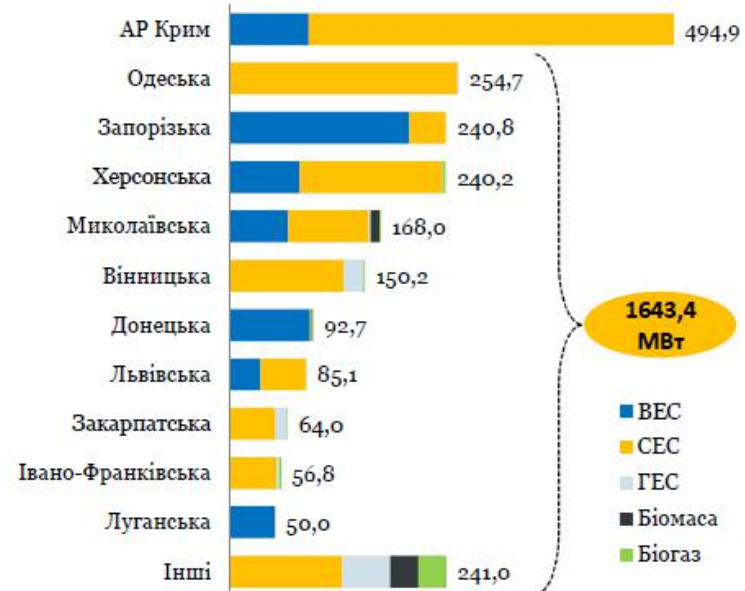
Динаміка загальної потужності ВДЕ, МВт



Потужність введена у 2 кварталі 2018, МВт



Загальна встановлена потужність, МВт



Мета та задачі дослідження

Мета роботи. Підвищення балансової надійності електричних мереж з фотоелектричними станціями.

Задачі дипломної роботи. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено наступні завдання:

- Оцінювання впливу генерування ФЕС на баланс потужностей в електричній мережі
- Визначити перелік основних засобів підвищення балансової надійності.
- Запропонувати метод визначення потужності резерву від енергосистеми для електричної мережі з ФЕС
- Розробити метод визначення ємності накопичувача для підвищення балансової надійності електричної мережі.

Об'єктом дослідження роботи є нормальні режими розподільних електричних мереж з фотоелектричними станціями.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення балансової надійності розподільних електричних мереж.

Методи дослідження. Статистичні методи оброблення інформації використано для аналізу результатів натурного експерименту. Методи лінійного програмування застосовано для формування алгоритмів пошуку оптимальних розв'язків поставлених задач. Усталені режими моделюються та аналізуються з використанням методу вузлових напруг, матричної алгебри, теорії графів.

Визначення імовірнісних характеристик генерування ФЕС та навантаження ЕМ

В результаті розщеплення гаусової суміші на компоненти за допомогою ЕМ-алгоритму, отримуємо основні імовірнісні характеристики процесів генерування ФЕС та навантаження.

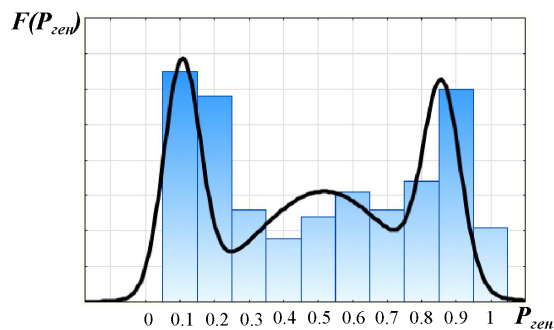


Рисунок 4.1 – Модель гаусової суміші для потужності генерування ФЕС

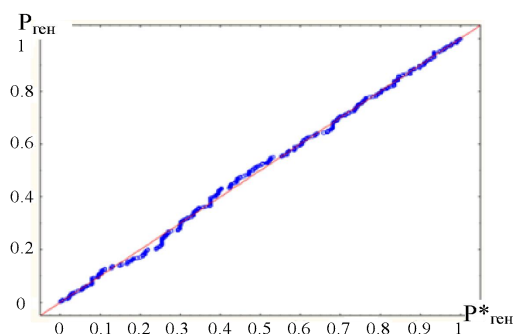


Рисунок 4.2 – Оцінювання відповідності розподілу гаусової суміші емпіричним даним для потужності генерування ФЕС

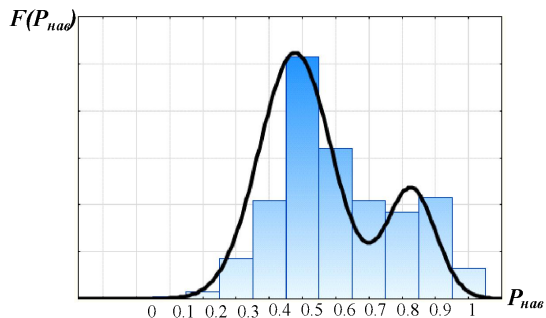


Рисунок 4.3 – Модель гаусової суміші для потужності навантаження

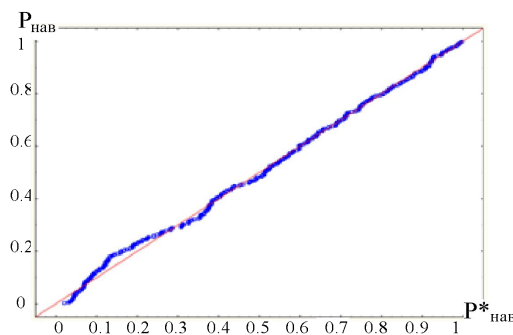


Рисунок 4.4 – Оцінювання відповідності розподілу гаусової суміші емпіричним даним для потужності навантаження

На основі проведених досліджень по визначенню основних статистичних характеристик процесів генерування та навантаження, з урахуванням отриманого закону розподілу, маючи вагу кожної компоненти генерування та навантаження, можна визначити ймовірність видачі певної потужності генерування ФЕС та навантаження:

$$F(P_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{P_u}^{P_{u+1}} e^{-\frac{r^2}{2}} dP_u,$$

$r = \frac{(P_u - \mu)}{\sigma}$, а P_u відповідно приймає значення P_u та P_{u+1} кожної складової компоненти генерування ФЕС чи споживання; μ – математичне очікування; σ – середньоквадратичне відхилення.

$$F_{\text{покp.}u_t} = F_{\text{HAB}u_t} \cdot \sum_{z=1}^f F_{\text{ФЕС } z_t},$$

$P_{\text{HAB}u_t} \leq P_{\text{ФЕС } z_t}$

де f – кількість складових компонент генерування, t – часовий проміжок на якому визначається імовірність покриття споживання генеруванням ФЕС.

Визначення ємності та графіка роботи накопичувача фотоелектричної станції

Визначені ймовірності покриття та не покриття графіка навантаження (рис 5.1), дозволяють визначити ємність накопичувача, що можна використовувати на ФЕС для дотримання заданого графіка генерування та/або покриття графіка навантаження.

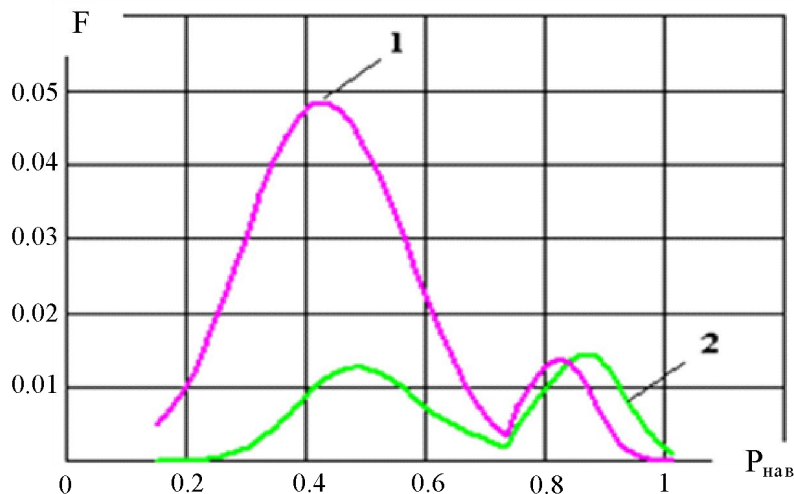


Рисунок 5.1 – Графічне представлення зміни ймовірностей покриття (1) та не покриття (2) заданого графіка споживання генеруванням ФЕС на протязі 12:30-13:00

Ймовірність покриття графіка навантаження, дозволяє визначити математичне очікування надлишкової потужності, тобто потужність генерування ФЕС, що більша за навантаження на t -му проміжку часу доби:

$$M_{над_t} = \sum_u F_{покр_{t_u}} \cdot P_{нави_u}, \quad (5.1)$$

де $F_{покр_t}$ – ймовірність покриття графіка навантаження, $P_{нави}$ – потужність навантаження.

Аналогічно можна визначити потужність, що повинна бути забезпечена накопичувачем для підтримання заданого графіка генерування ФЕС:

$$M_{деф_t} = \sum_u F_{не\ покр_{t_u}} \cdot P_{нави_u}, \quad (5.2)$$

де $F_{не\ покр_t}$ – ймовірність не покриття графіка навантаження, $P_{нави}$ – потужність навантаження.

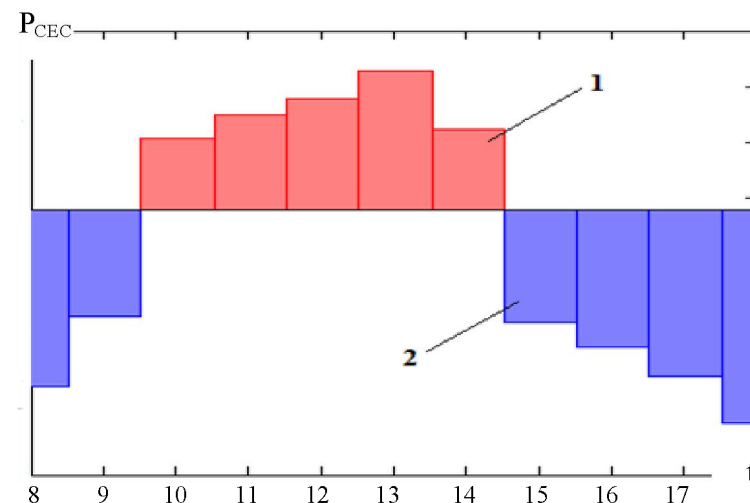


Рисунок 5.2 – Графік роботи накопичувача (1) – години в які накопичувач працює в режимі акумулювання, (2) – години в які накопичувач працює в режимі видачі потужності

Формування графіка роботи накопичувача здійснюється при допущенні, що години в які $M_{над} < M_{деф}$, можна віднести умовно до годин в яких накопичувач буде працювати на видачу потужності та навпаки, коли $M_{над} > M_{деф}$, мова йтиме про режим накопичення енергії.

Метод визначення потужності резерву для забезпечення балансової надійності ЛЕС

Задача визначення оптимальної потужності резерву ЛЕС незалежно від принципів керування повинна відповідати мінімуму приведених затрат на підтримання потужності резерву та враховувати затрати, що будуть компенсуватись в разі незабезпечення балансової надійності споживачів ЛЕС. Отже, цільову функцію можна записати:

$$B_{\Sigma} = B(P_p) + B(P_{ЛС}) + B(\Delta W) \rightarrow \min, \quad (6.1)$$

$B(P_p) = \epsilon_{P_p}^{num} \cdot P_p$ – витрати на резерв генерувальної потужності P_p ;

$B(P_{ЛС}) = \epsilon_{P_{ЛС}}^{num} \cdot P_{ЛС}$ – витрати на запас пропускної здатності ЛЕП;

$\epsilon_{P_{ЛС}}^{num}, \epsilon_{P_p}^{num}$ – питомі витрати (грн/кВт) на створення резерву генерування для ЛЕС і витрати на підтримання запасу по пропускній спроможності ЛЕП відповідно;

$B(\Delta W) = \epsilon_0 \cdot M[\Delta W]$, ати на компенсацію споживачам за недовідпущену електроенергію, ϵ_0 – питома вартість кВт год недовідпущеної електроенергії (грн/кВт год).

На основі ймовірнісних характеристик процесу генерування ФЕС, можна визначити нестабільність покриття ГЕН у вигляді коефіцієнту нестабільності:

$$k_{нестаб.г} = 1 - F_{покр.}$$

Даний показник можна пов'язати з економічними показниками цільової функції (6.1)

$$M[\Delta W] = T_p \cdot P_n \cdot k_{нестаб}$$

де T_p – час для якого оцінюється математичне очікування недовідпущеної електроенергії, P_n – потужність навантаження, а $k_{нестаб}$ – ймовірність появи дефіциту потужності.

Витрати на компенсацію споживачам за недовідпуск запишемо як:

$$B(\Delta W) = \epsilon_0 \cdot T_p \cdot P_n \cdot k_{нестаб} \quad (6.2)$$

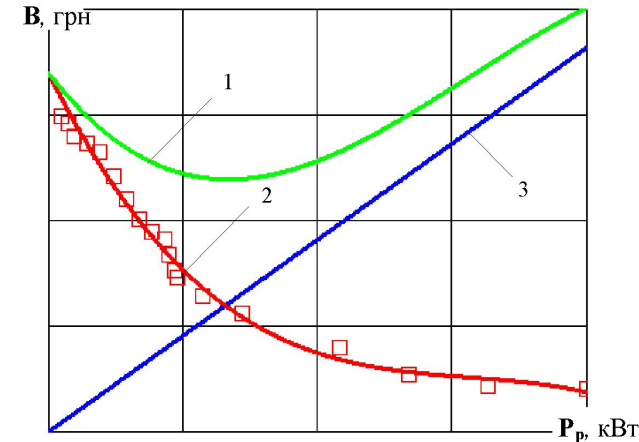


Рисунок 6.1 – Графічне зображення взаємозв'язку іменованих та відносних ПБН в ЛЕС, 1 – загальні приведені витрати на резерв, 2 – зміна коефіцієнта нестабільності при зміні потужності резерву, 3 – залежність витрат від потужності резерву

Продиференціюємо цільову функцію:

$$\frac{\partial B_{\Sigma}}{\partial P_p} = \epsilon_{P_p}^{num} \cdot P_p + \epsilon_0 \frac{\partial M[\Delta W]}{\partial P_p} = 0$$

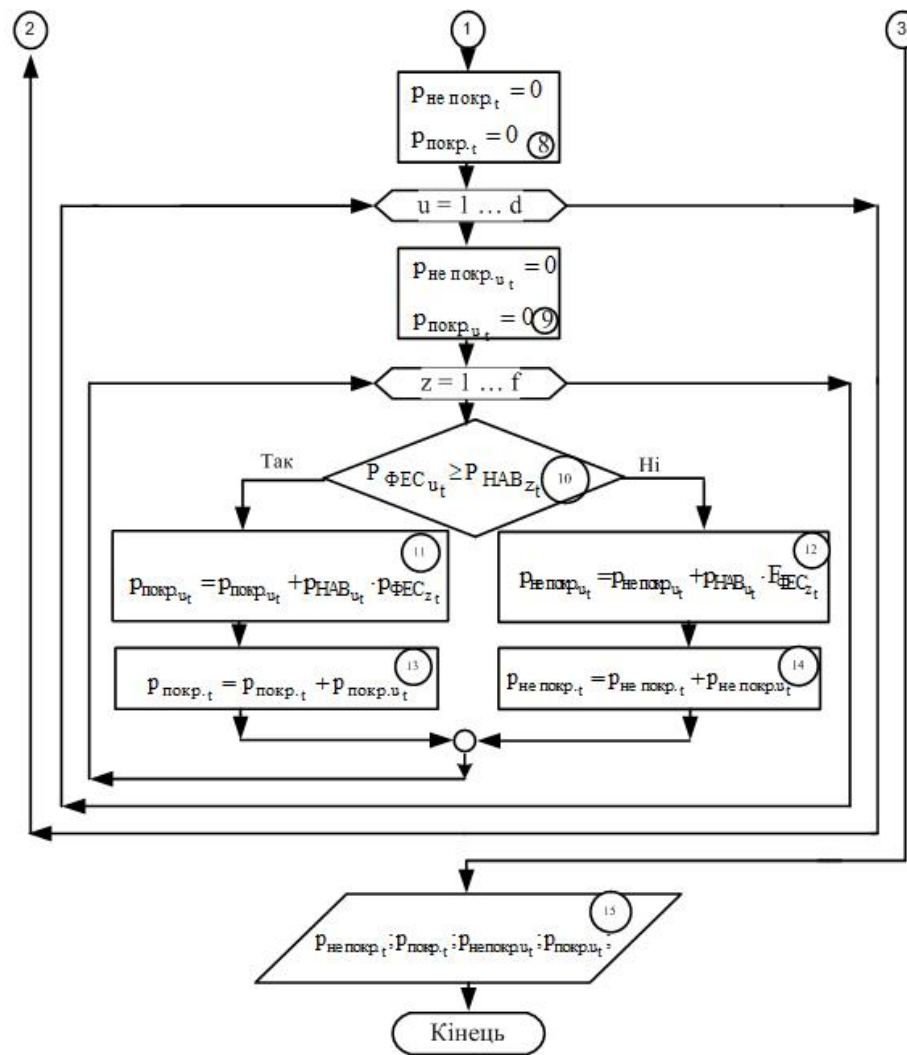
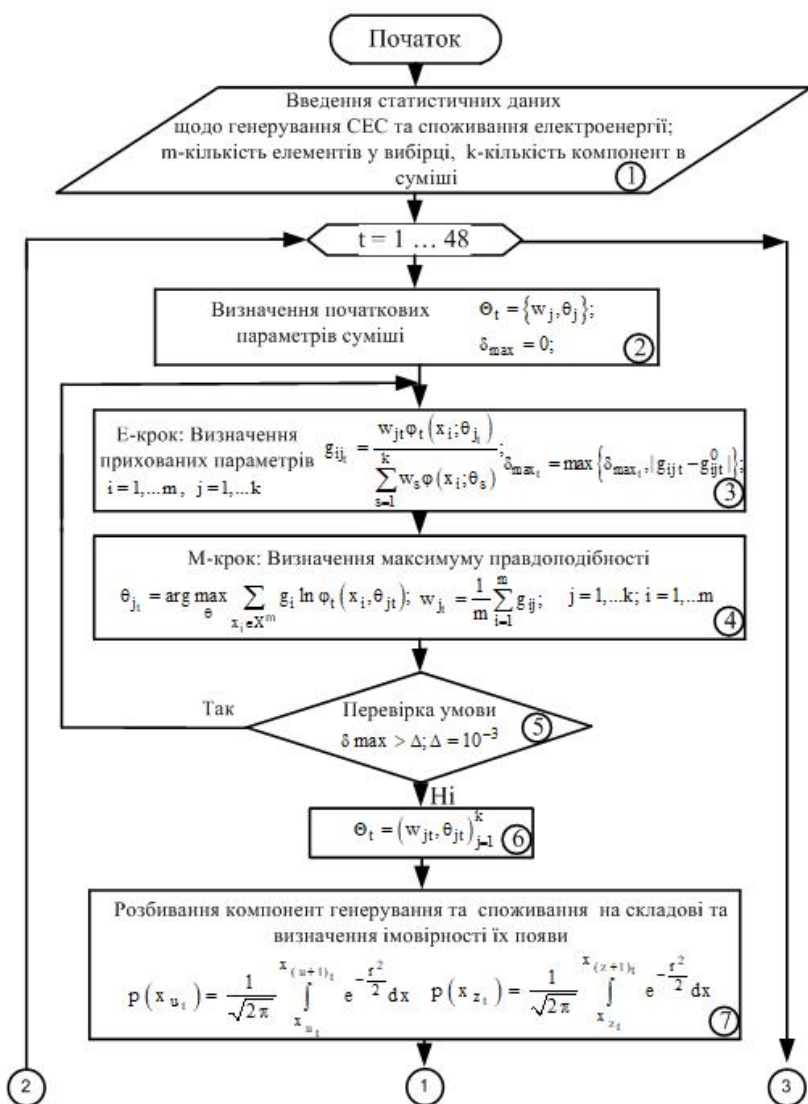
Апроксимуємо залежність (6.2) квадратним поліномом:

$$\frac{\partial B_{\Sigma}}{\partial P_p} = \epsilon_{P_p}^{num} \cdot P_p + \epsilon_0 \frac{(\varphi P_p^2 + \upsilon P_p + \vartheta)}{\partial P_p} = 0,$$

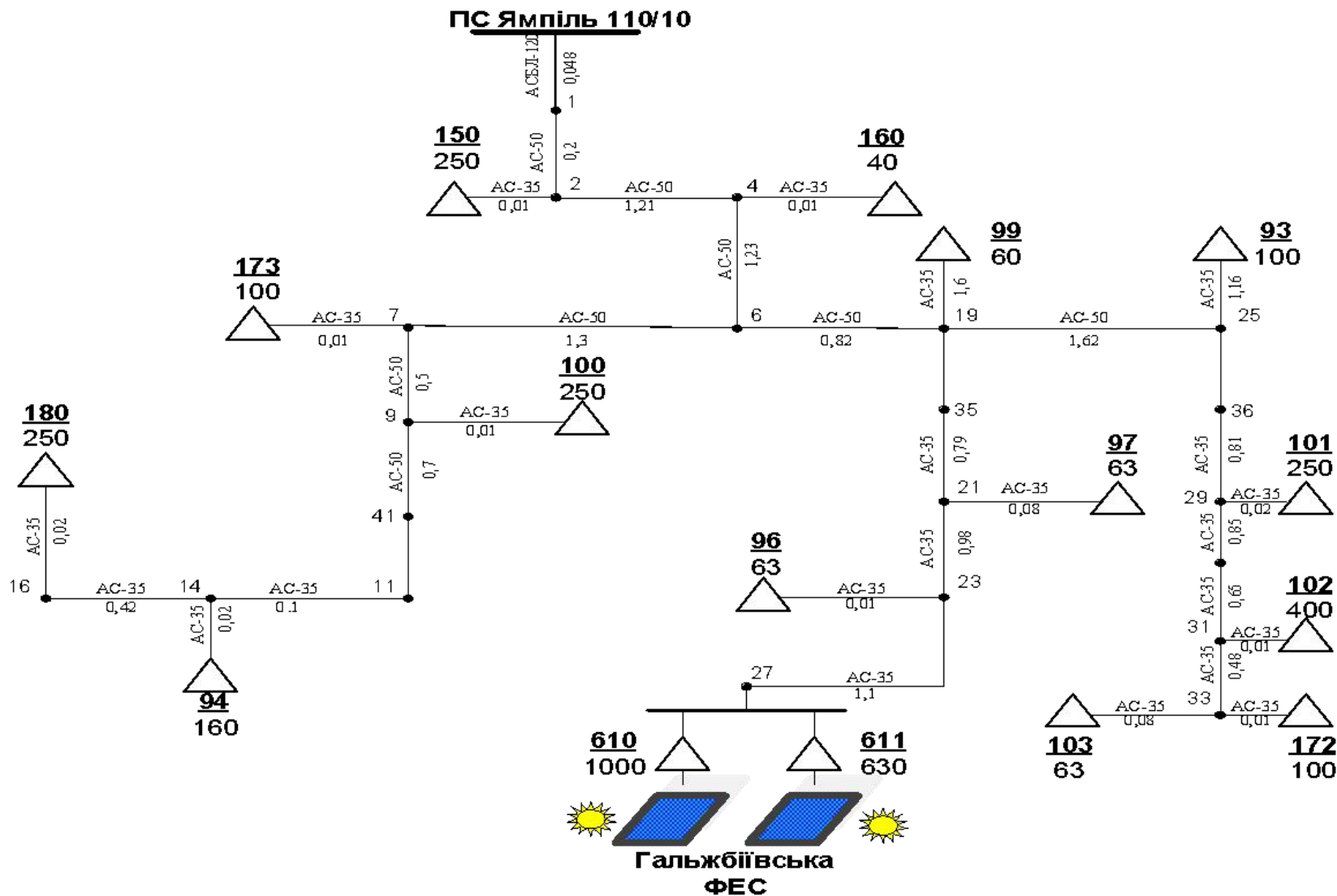
Потужність резерву, що забезпечуватиме мінімум витрат цільової функції:

$$P_p = -\frac{\epsilon_{P_p}^{num} + \epsilon_0 \upsilon}{2\epsilon_0 \varphi}. \quad (6.3)$$

Алгоритм визначення ймовірності покриття графіка навантаження ЛЕС генеруванням ФЕС



Визначення імовірнісних характеристик генерування Гальжбіївської ФЕС для фрагменту схеми електричних мереж 10 кВ Ямпільського району



Визначення ємності накопичувача для фрагменту схеми електричних мереж 10 кВ Ямпільського району

Зрозуміло, що у випадку встановлення накопичувача в межах балансової належності локальних електричних систем, розрахунок його технічних характеристик повинен ґрунтуватись на оцінюванні нестабільності процесу генерування фотовольтаїчних електричних станцій.

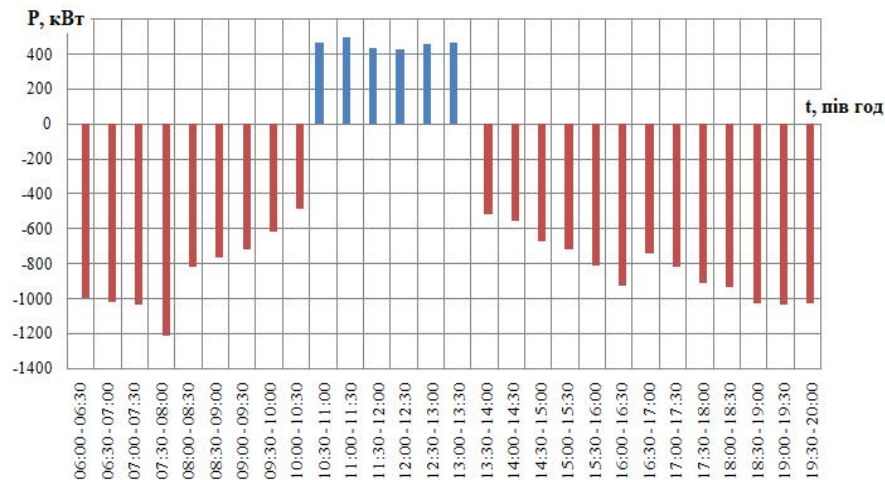


Рисунок 9.1 – Зміна математичного очікування дефіциту та надлишку генерування Гальжбіївської ФЕС протягом доби

В кожний момент часу ємність накопичувача електроенергії буде визначатись як сума двох складових $Q_0(t)$ – заряду на початку роботи

$$Q(t) = Q_0(t) + \frac{W_{над}(t)}{U_{н-ч}}$$

$W_{над}(t)$ – надлишкова енергія;

$U_{н-ч}$ – напруга на затискачах накопичувача;

З рисунку 9.1 видно, що для даної потужності генерування ФЕС, математичне очікування надлишку генерування більше за математичне очікування дефіциту на проміжку часу з 10:30 по 13:30.

$$Q(t) = \frac{W_{над}(t)}{U_{н-ч}} = \frac{2756.35}{12} = 230 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

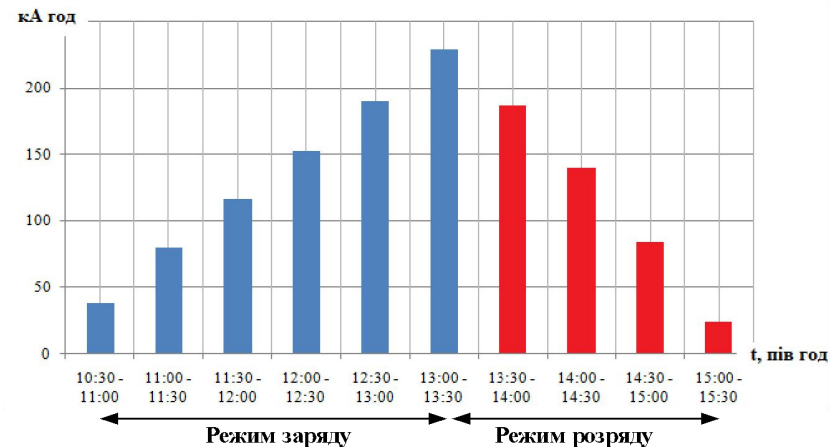


Рисунок 9.2 – Графік роботи накопичувача повного циклу «заряд/розряд»

Встановлення накопичувача такої ємності потребує суттєвих капіталовкладень. Кількість накопиченої електроенергії залежить безпосередньо від цієї ємності, а також від встановленої потужності генерування ФЕС.

Визначення оптимальної потужності резерву локальної електричної системи з урахуванням генерування ФЕС

Для забезпечення балансової надійності та зменшення витрат енергопостачальної компанії на компенсацію споживачам за недовідпуск електроенергії на проміжку часу з 12:30 по 13:00 літнього періоду в ЛЕС повинна підтримуватись потужність:

$$P_p = 278.3 \text{ кВт}$$

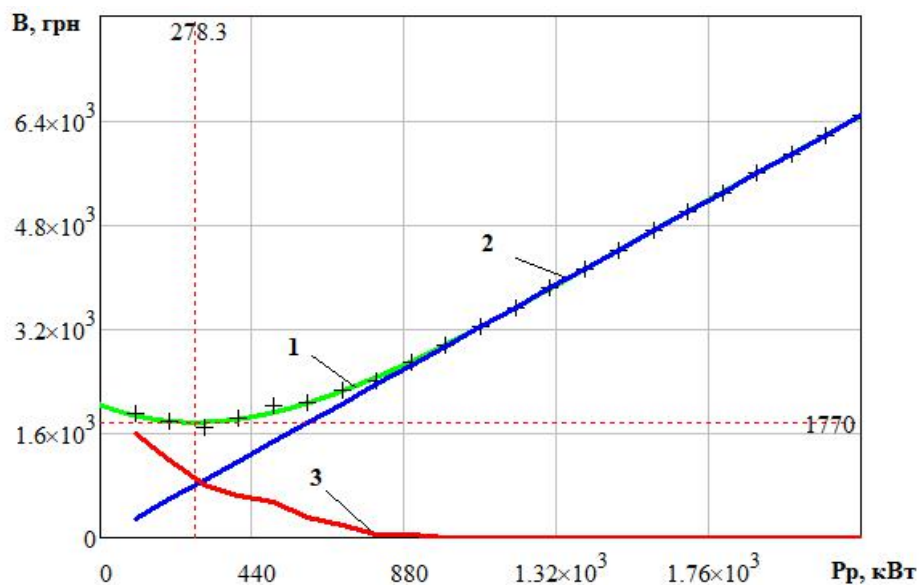


Рисунок 10.1 – Визначення оптимальної потужності резерву: 1 – апроксимована залежність сумарних витрати на резерв, 2 – витрати на підтримання потужності резерву, 3 – залежність витрат енергопостачальної компанії за недовідпущену електроенергію.

Таблиця 10.1 – Результати розрахунків потужностей резерву протягом доби літнього періоду

Час доби	Мат. очікування генерування ФЕС, кВт	Мат. очікування навантаження ЛЕС, кВт	Потужність резерву, кВт
06:00 - 06:30	58.51	996.4	935.6
06:30 - 07:00	141.9	1020.8	975.2
07:00 - 07:30	244.54	1039.4	956.2
07:30 - 08:00	396.32	1277.5	1088.4
08:00 - 08:30	514.93	905.8	750.2
08:30 - 09:00	639.92	928.1	710.5
09:00 - 09:30	775.82	947.8	680.3
09:30 - 10:00	886.36	947.8	600.2
10:00 - 10:30	941.5	927.8	511.2
10:30 - 11:00	989.43	861.1	408.3
11:00 - 11:30	1084.3	860.2	308.1
11:30 - 12:00	1017.71	761.9	290.2
12:00 - 12:30	1066.8	759.1	285.6
12:30 - 13:00	1249.29	851.5	278.3
13:00 - 13:30	974.33	896.5	395.9
13:30 - 14:00	1008.41	952	462.7
14:00 - 14:30	933.84	945.1	501.8
14:30 - 15:00	884.27	1021.9	602.4
15:00 - 15:30	918.5	1030.6	649.2
15:30 - 16:00	769.97	1021.8	742.7
16:00 - 16:30	634.22	1107.2	855.6
16:30 - 17:00	531.74	846.4	685.3
17:00 - 17:30	402.02	896.5	750.6
17:30 - 18:00	279.21	952	840.8
18:00 - 18:30	179.52	938.1	766.2
18:30 - 19:00	117.3	1024.6	916.1
19:00 - 19:30	69.09	1033.3	973.9
19:30 - 20:00	39.16	1024.6	995.3

Охорона праці на ФЕС

На основі аналізу літературних джерел та викладеного матеріалу у підрозділі 5.1 при роботах пов'язаних з обслуговуванням ФЕС повинні бути враховані наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори з урахуванням міждержавного нормативного документа з охорони праці ГОСТ 12.003-74 на оперативно-ремонтний персонал сонячних електростанцій в електричних мережах впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.
- психофізіологічні:
- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Отже, для мінімізації ризику професійного захворювання та травматизму працівників при експлуатації ФЕС сформулюємо основні задачі щодо охорони праці за темою дипломного проектування:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з обслуговуванням ФЕС, які працюють в складі електроенергетичної системи України за міждержавним НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»
2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при обслуговуванні ФЕС. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою обладнання РП – 10 кВ.
3. Описати основні заходи протипожежного захисту фотоелектричних установок.

Для визначення ймовірнісних характеристик процесу генерування ФЕС підвищення ефективності функціонування електричної мережі використано модель гаусової суміші для потужностей генерування ФЕС та для навантаження. В результаті розщеплення гаусової суміші отримано основні статистичні характеристики (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення) процесів генерування ФЕС та навантаження, що є вихідною інформацією для визначення ємності накопичувача та потужності резерву.

Нестабільність генерування ФЕС, як і інших ВДЕ, є одним з суттєвих факторів, що впливають на баланс потужності в ЕМ і, як наслідок, на відповідність параметрів режиму нормативним значенням. Вдосконалено метод визначення коефіцієнта стабільності генерування ВДЕ на основі аналізу ймовірнісних характеристик процесів генерування ВДЕ, зокрема ФЕС, та навантаження. Він представляє собою імовірність забезпечення споживачів електроенергії ЕМ електроенергією генерування ВДЕ.

Згідно з розрахунками, застосування системи азимутального стеження за Сонцем збільшує вартість СФУ з одиничною площею СФЕ на 16,21%, системи повного стеження - на 23,89%.

За результатами розрахунків, можна сказати, що при зальній сумі капіталовкладень у розмірі 76,7 млн. грн., прибутку 13500 тис. грн/рік, ФЕС потужністю 1,5 МВт окупиться за 5,61 роки. За даним результатом розрахунку терміну окупності сонячної електростанції, можна зробити висновок, що її будівництво є економічно доцільне.

Одним з головних питань є забезпечення безпеки життєдіяльності та нормальних умов праці. Тому в розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» було поставлено та вирішено основні задачі щодо охорони праці за темою дипломного проектування:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з обслуговуванням ФЕС
2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при обслуговуванні ФЕС. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою обладнання РП – 10 кВ.
3. Описати основні заходи протипожежного захисту фотоелектричних установок.