

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

Гавришків Ігор Богданович

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Підвищення енергоефективності автономних систем
електропостачання з поновлюваними джерелами енергії

Виконав: студент (ка) VI курсу, групи ЕЕмз-61

спеціальності (напряму підготовки) _____

141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра Електричної інженерії
Освітній ступінь магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 201__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Гавришків Ігор Богданович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення енергоефективності автономних систем електропостачання з поновлюваними джерелами енергії

Керівник проекту (роботи) Костик Любов Миколаївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від « _____ » _____ 201__ року № _____

2. Термін подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Обґрунтування економічної ефективності			
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях			
Екологія			
Спеціальна частина			

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітична частина		
3	Науково-дослідна частина		
4	Технологічна частина		
5	Проектно-конструкторська частина		
6	Спеціальна частина		
7	Обґрунтування економічної ефективності		
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
9	Екологія		
10	Висновки		
11	Оформлення пояснювальної записки		
12	Оформлення графічної частини		

Студент _____

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гавришків І.Б. Підвищення енергоефективності автономних систем електропостачання з поновлюваними джерелами енергії. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕмз-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор. - 101; рис. – 21; табл. -6; креслень - 6; джерел – 27; додатків – 0.

Розвинуто методику комплексної оптимізації АСЕП, що використовують ВДЕ, ДЕС, АБ, СІН, БІН, а також елементи трансформування, передачі і розподілу електроенергії, заснована на розрахунках режимів роботи АСЕП протягом усього розрахункового періоду з кроком одну годину.

Ключові слова: автономна система електропостачання, автономне живлення, електроенергетична система.

ANNOTATION

Havryshkiv I. Improving the energy efficiency of autonomous power supply systems with renewable energy sources. 141 – Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Department of electronic engineering, group EEM3-61. – Ternopil.: TNTU, 2019.

Page – 101; fig. – 21; Tables – 6; Blueprints – 6; Sources – 27; applications - 0.

The technique of complex optimization of autonomous renewable energy systems, using including: photoelectric converters, diesel power plants, battery inverters, as well as elements of transformation, transmission and distribution of electricity, based on the calculations of the modes of operation of autonomous renewable energy systems throughout the entire billing period in one hour.

Key words: autonomous power supply system, autonomous power supply, power system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Автономні системи електропостачання.....	9
1.2 Методи опису параметрів оточуючого середовища території.....	11
1.3 Математичні моделі елементів систем електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії.....	13
1.4 Методи, які використовуються при оптимізації систем електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії	15
1.5 Найбільш поширені оптимізаційні комплекси.....	15
1.6. Переваги та недоліки комплексів підвищення енергетичної ефективності систем електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії.....	20
1.7 Постановка завдання роботи.....	21
1.8 Висновки до розділу.....	25
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	26
2.1 Визначення параметрів навколишнього середовища.....	26
2.2 Математичне моделювання елементів АСЕП.....	31
2.3 Висновки до розділу.....	39
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	40
3.1 Правила розподілу навантажень між електрогенеруючими установками.....	40
3.2 Визначення оптимального складу обладнання АСЕП.....	50
3.3 Висновки до розділу.....	53
4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	54
4.1 Комплексної оптимізації АСЕП на базі поновлюваних джерел енергії та акумуляторних батарей.....	54
4.2 Врахування надійності при вирішенні завдання комплексної оптимізації.....	58

4.3	Опис правил роботи об'єктів генерації, що використовують поновлювані джерела енергії і акумуляторні батареї з урахуванням надійності.....	63
4.4	Висновки до розділу.....	65
5	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	66
5.1	Програмно-обчислювальний комплекс оптимізації АСЕП.....	66
5.2	Комплексна оптимізації АСЕП на базі поновлюваних джерел енергії та акумуляторних батарей з урахуванням надійності.....	69
5.3	Висновки до розділу.....	72
6	ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	73
6.1	Комплексна оптимізація децентралізованої системи електропостачання для метеоумов Мукачівського району.....	73
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	81
7.1	Актуальність проблеми електробезпеки.....	81
7.2	Вимоги до профілактичних медичних оглядів для працівників ПК.....	83
7.3	Економічне значення заходів щодо покращення умов охорони праці.....	85
7.4	Радіаційний та хімічний захист.....	88
7.5	Інформація та оповіщення. Поведінка населення при загрозі надзвичайної ситуації.....	89
7.6	Протирадіаційне укриття.....	91
8	ЕКОЛОГІЯ.....	93
8.1	Актуальність охорони навколишнього середовища.....	93
8.2	Вплив електричних мереж на навколишнє середовище.....	94
8.3	Заходи по охороні навколишнього середовища на об'єкті в процесі експлуатації трансформатора.....	96
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	98
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	99

ВСТУП

Обґрунтування актуальності проблеми дослідження. На території України є енергетичні системи, ізольовані від Єдиної енергетичної системи. Переважно дані енергетичні системи входять до енергетичної системи заходу. Тут зосереджена велика кількість автономних систем, що не мають електричного зв'язку з районною енергетичною системою. Для електропостачання автономних систем, як правило, використовуються дизель-генераторні установки (ДГУ) різної встановленої потужності, сукупність яких утворює дизельну електростанцію (ДЕС). ДЕС властива висока вартість дизельного палива, обумовлена дальністю транспортування, обмеженістю термінів сезонного завезення, багатоланкової схеми поставок. Транспортна складова для таких споживачів може досягати 50-70% від загальних витрат. Все це призводить до високої вартості електроенергії від ДЕС. Зарубіжний досвід показує, що комбіноване застосування ВДЕ і акумулюючих пристроїв разом з традиційними енергетичними установками в АСЕП, є економічно ефективним способом енергозабезпечення споживачів у порівнянні з дизельними.

Метою роботи є підвищення енергоефективності автономних систем електропостачання (АСЕП) шляхом раціонального вибору основного генеруючого обладнання та оптимізації його робочих режимів.

Об'єктом дослідження є енергетичні процеси в АСЕП.

Предметом дослідження є техніко-енергетичні характеристики автономних систем електропостачання із відновлювальними джерелами енергії.

Завдання дослідження. Розробка комплексної методики оптимізації АСЕП.

Наукова новизна отриманих результатів.

- створено методику комплексної оптимізації АСЕП, що дозволяє врахувати кореляцію між параметрами навколишнього середовища

(швидкість вітру, хмарність, тиск, температура повітря і т.д.), а також їх динаміку, за рахунок використання результатів багаторічних спостережень автоматичних метеостанцій;

- розроблено підхід до проведення розрахунку електричних режимів при оптимізації АСЕП, що використовують ВДЕ і АБ;

- запропоновано метод обліку надійності електропостачання при вирішенні задачі комплексної оптимізації АСЕП;

- на основі методичних результатів роботи створено ПОК оптимізації складу обладнання АСЕП.

Практичне значення отриманих результатів.

- представлені практичні приклади оптимізації АСЕП для різних кліматичних умов;

- створена методика і реалізовано її ПОК, що дозволяє виконувати комплексну оптимізацію АСЕП, що працюють в широкому діапазоні зовнішніх умов.

Апробація результатів дослідження:

1. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 27-28 листопада 2019.- Т. 3. – 26.

Структура роботи. Робота складається із вступу, 8-и розділів, висновків, переліку посилань (27).

Загальний обсяг текстової частини – 101 стор., 6 табл., 21 рис.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Автономні системи електропостачання

Автономні системи електропостачання (АСЕП) забезпечують електроенергією невеликі сільські населені пункти, в яких зосереджені об'єкти агропромислового комплексу (молочні ферми, великої рогатої худоби, оленярство, конярство, Промислове полювання, пасіки і т.д.). Кількість жителів в середньому становить від декількох десятків до трьохсот-чотирьохсот чоловік.

Використання дизельних електростанцій (ДЕС) вимагає щорічного завезення дизельного палива до важкодоступних віддаленим населеним пунктам, що в свою чергу значно збільшує вартість виробленого кВт·год. Наприклад, в деяких районах Закарпатської області при доставці дизельного палива застосовується досить складна схема. Природно, вартість виробленого кВт·год в таких умовах, може досягати вкрай високих значень.

Як правило, в ізолюваних системах електропостачання число годин роботи ДЕС на добу становить від 4 до 8. Природно, подібна ситуація несприятливо впливає на соціально-економічний розвиток населеного пункту, обмежує використання населенням сучасних побутових приладів, збільшує відтік жителів з поселення і т.д. Варто також відзначити часте незадовільний стан ДЕС, що в свою чергу призводить до високого питомого споживання дизельного палива.

У табл. 1.1 наведені ДЕС, розташовані в Мукачівському районі Закарпатської області на 2013р.

У таблиці 1.2 наведені техніко-економічні показники ДЕС Мукачівського району на 2013 р

Збільшений витрата нормованого показника питомого споживання дизельного палива обумовлюється частими ремонтами паливної системи ДЕС. Подібна ситуація спостерігається практично повсюдно, що підштовхує

до розгляду питання енергетичної ефективності (АСЕП), що використовують ДЕС.

Таблиця 1.1 – Характеристики ДЕС, розташованих в Мукачівському районі Закарпатської області на 2013 рік

Чисельність населення	Кількість ДГУ, шт	Тип агрегату	Тип дизеля	Потужність, кВт	Max/min навантаження ДЕС, кВт
403	4	ДЕУ-200	ЯМЗ-240	200	130/30
		ДЕУ-100	ЯМЗ-238	100	
		ДЕУ-100	ЯМЗ-238	100	
216	6	ДЕУ-60	ЯМЗ-236	60	61/18
		ДЕУ-60	ЯМЗ-236	60	
		ДЕУ-75	НФД-26	75	
		ДЕУ-100	ЯМЗ-238	100	
		ДЕУ-30	Д-246.1	30	
118	3	ДЕУ-75	А-01	75	90/22
		ДЕУ-60	ЯМЗ-236	60	
		ДЕУ-30	Д-246	30	
		ДЕУ-100	ЯМЗ-238	100	
316	2	ДЕУ-100	ЯМЗ-238	100	95/24
		ДЕУ-100	ЯМЗ-238	100	
		ДЕУ-60	ЯМЗ-236	60	

Починаючи з 2012 року, на території Закарпатської області реалізуються програми розвитку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). До теперішнього часу реалізовані наступні проекти, що використовують ВДЕ: фотоелектрична станція (ФЕС) - 1000 кВт (перша черга з 4000 кВт), вітроенергетична станція (ВЕС) - 250 кВт, ВЕС - 275 кВт, ВЕС - 550 кВт, ФЕС - 80 кВт, ФЕС - 30 кВт, ФЕС - 60, ФЕС - 30 кВт. Значна частина зазначених генеруючих потужностей вводиться в АСЕП електропостачання.

Таблиця 1.2 – Техніко-економічні показники ДЕС Мукачівського району на 2013 р

Вироблення ел. енергії, тис. кВт·год		Витрати дизельного палива		Питомі витрати дизельного палива, рік/кВт·год	
норма	факт	норма	факт	норма	факт
104	299.943	52.235	153.224	462.8	502.3
73	253.064	35.981	136.607	492.9	539.8
91	307.488	46.910	153.075	515.5	497.8
102	368.966	51.198	175.175	501.9	474.8
73	286.480	38.603	137.905	528.8	481.4
-	13.940	-	5.145	-	369.1
31	129.052	16.791	66.119	541.7	512.3

За різними оцінками до 2020 року в Україні очікується введення нових генеруючих потужностей на базі ВДЕ до 400 МВт.

1.2 Методи опису параметрів оточуючого середовища території

Основні завдання, що виникають при комбінованому застосуванні ВДЕ і акумуляторного блоку (АБ), носять оптимізаційний характер. Знаходження оптимального співвідношення встановлених потужностей основного генеруючого обладнання, а також елементів трансформації, перетворення і розподілу електроенергії дозволяє ще на стадії перед проектною оцінкою визначити область оптимальних рішень.

Перед рішенням подібного роду завдань необхідно ретельно виконати аналіз вітроенергетичного, фотоелектричного потенціалу місцевості. У роботах I.Tegani [29], Rajesh Kumar [30], Al Busaidi [34], Arnau Gonzales [35], Abdolvahhad Fetanat [36], Amit Kumar Yadav [37], Guiseppe Marco Tina [38], Getachew Bekele [44], Orhan Ekren [68,69,70], Ahmad Murtaza Ershad [39] та ін. використовується функція середньомісячної інтенсивності сонячного

випромінювання, масив інтенсивності сонячного випромінювання, зафіксованого на метеостанції на розглянутій території.

У роботах Wei Zhou [43], Fang-Fang Li [51], Aeidapu Mahesh [57] та ін. для визначення фотоелектричного потенціалу місцевості використовується відкритий база даних NASA.

Відзначимо, що в ряді робіт вказуються астрономічні алгоритми, що дозволяють моделювати функцію інтенсивності сонячного випромінювання, а також визначати по місяцях сумарну сонячну радіацію, що надходить на горизонтальну поверхню на розглянутій території протягом року. До таких робіт відносяться S.A. Klein [31,32], R.K. Aggarwal [33], Jasmina Radosavljević [46], Cooper P.I [47], Meinel A.B [49], F. Kasten [48] та ін.

Для визначення вітроенергетичного потенціалу території розроблені різні методики, що дозволяють моделювати швидкість вітру на розглянутій території. Відповідно до роботам В.Г. Миколаєва [12,13] і С.Г. Ігнат'єва [14] до теперішнього часу розподіл Вейбулла, а також нормальний розподіл швидкості вітру і їх модифікації є найбільш поширеними методиками визначення швидкості вітру. У роботах Morteza Zare Oskouei [52], M.K. Deshmukh [53], Sajjad Haider Shami [54], Guiseppe Marco Tina [38], Gilles Notton [45], Wei Zhou [43], Getachew Bekele [44], Carlos Eduardo Camargo Nogueira [55], Esmail M.A. Mokheimer [56], Aeidapu Mahesh [57] також використовуються вищевказані методи визначення швидкості вітру на розглянутій території.

Необхідно відзначити роботи Guzman Diaz [58], Seyit A. Akdag [59], Shahnawaz Farhan Khahro [64], в яких детально описуються і порівнюються різні способи опису функції швидкості вітру. Окремо виділимо колективи під керівництвом В.Г. Миколаєва [12,13], J.A. Carta, P. Ramirez [60,61,62,63], дослідження яких дають найбільш комплексний розгляд питань, пов'язаних з описом параметрів вітроенергетичного потенціалу території.

Як видно, є велика кількість наукових робіт, де описані різні підходи для аналізу параметрів навколишнього середовища, що відповідають за

енергетичний потенціал місцевості. Отже, в залежності від наявних первинних даних, а також їх деталізації, можливо використовувати різні види представлення функції швидкості вітру і інтенсивності сонячного випромінювання на даній території.

1.3 Математичні моделі елементів систем електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії

Основними методами дослідження енергетичних комплексів на основі ВДЕ є математичне моделювання. Створена велика кількість моделей енергокомплексів і їх елементів. Далі розглядаються підходи до моделювання основних елементів АСЕП.

Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП). Уявімо найбільш відомі математичні моделі ФЕП.

Перша модель дозволяє визначати, яка потужність генерується фотоелектричним перетворювачем виходячи із загальної встановленої площі, ККД, і середньомісячної сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню. Такий підхід дозволяє розглядати тільки генеруючу потужність фотоелектричних перетворювачів, за певний часовий інтервал, без подання вольт-амперних характеристик сонячної батареї. Дана модель використовується в роботах Minna Ranjeva [72], Orhan Ekren [68,69,70], Іванової І.Ю [15] та ін.

Друга модель дає можливість з великою деталізацією розглядати внутрішні параметри ФЕП, так як описує напівпровідникову частину (діоди, опору і т.д.) ФЕП. Дана модель досить популярна і використовується в роботах дослідних колективів під керівництвом Krismadinata [65], M. G. Villalva [66], A. Nina Fathima [67], Rodolfo Dufo-López [71], Ghada Merei [73] і багатьох інших.

Третя модель, описана Hans S. Rauschenbach [16], дозволяє моделювати основні експлуатаційні параметри ФЕП за паспортними даними заводу-

виготовлювача, враховувати вплив температури навколишнього середовища на вольт-амперні характеристики і т.д. Carlos Eduardo Camargo Nogueira [55] використовує дану модель при вирішенні задачі оптимізації АСЕП, що використовують ВДЕ і акумулюють пристрою.

Вітроенергетичні установки. У більшості робіт, де в якості основного генеруючого обладнання використовуються вітроенергетичні установки, застосовується досить відома математична модель, згідно з якою генерується потужність пропорційна кубу швидкості вітру, а також залежить від радіуса вітроколеса і ефективності перетворення енергії вітру - Peter Musgrove [74], Н.І Воропай [17], В.Г. Миколаїв [12,13].

Акумулюючі пристрої. В першу чергу необхідно відзначити ряд публікацій під авторством Thomachan A. [76], де застосовується математична модель, що дозволяє визначати ємність АБ за даними заводу виробника. Дана модель активно використовується при моделюванні автономних систем, що використовують ВДЕ - Minna Ranjeva [72] та ін. Відзначимо роботу Tremblay O [75], де представлені докладні моделі літій-іонних, свинцево-кислотних, нікель кадмієвих акумуляторних пристроїв. Описані Tremblay O [75], моделі мають високу деталізацію, а також дозволяють визначити всі експлуатаційні параметри акумуляторної батареї. D. Yamegueu [77], Rodolfo Dufo-López [71], Ghada Merei [73], Tomonobu Senjyu [78], Thomas L. Gibson [79], Sunanda Sinha [80],

V. Ould. Bilal [81], S. Aissou [82] і багато інших використовують дану модель при вирішенні оптимізаційних задач в АСЕП електропостачання.

Мережеві, батарейні інвертори, випрямлячі. Математичні моделі мережевих, батарейних інверторів і випрямлячів представлені в наукових роботах під керівництвом Salas V. [83,84,85,86,87]. Крім математичних моделей також представлені схеми з'єднання, заміщення, а також вплив елементів перетворення на якість електроенергії в АСЕП електропостачання. Наведено техніко-економічні показники різних типів інверторів, режими роботи в точці максимального відбору потужності.

Трансформатори, повітряні, кабельні лінії, розподільні пристрої. Математичні моделі елементів трансформації, передачі і розподілу електроенергії є відомими і представлені, зокрема, в довіднику за редакцією Л. Файбисовича [28].

1.4 Методи, які використовуються при оптимізації систем електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії

До теперішнього часу розроблено велику кількість методів дозволяють досить успішно вирішувати оптимізаційні задачі.

У таблиці 1.3 представлені методи, використовувані при вирішенні структурної / комплексної оптимізації в АСЕП електропостачання - А. Ніна Fathima [67], Jonas Allegrini [50].

1.5 Найбільш поширені оптимізаційні комплекси

Питанням моделювання та оптимізації АСЕП, що використовують ВДЕ і накопичувачі енергії, присвячено значну кількість робіт, виконаних як в нашій країні, так і за кордоном. В першу чергу слід відзначити роботи під керівництвом Rodolfo Dufo-López [71], Peter Lilienthal, Minna Ranjeva [72], на базі яких створені оптимізаційні комплекси, що дозволяють вирішувати завдання оптимізації АСЕП. Найбільш поширені такі оптимізаційні комплекси: HOGA - Hybrid optimization by genesis algorithm (Іспанія), HOMER - Hybrid optimization modeling software (США), HYPORA - Hybrid power optimized for rural / remote areas (США).

Hybrid optimization by genesis algorithm (HOGA, Іспанія) Розробники - Rodolfo Dufo-Lopez, Jose L. Bernal-Agustin. Оптимізація досягається шляхом мінімізації сумарних витрат системи протягом усього циклу експлуатації. Також можливо використовувати в якості цільової функції кількість викидів CO₂ в атмосферу.

Таблиця 1.3 – Найбільш популярні оптимізаційні методи, що застосовуються при вирішенні завдань структурної/комплексної оптимізації

Метод оптимізації	Розробник	Рік	Опис методу	Використовується авторами
Genetic/evolutionary algorithm	<i>John Holland</i>	1975	Алгоритм пошуку, який використовується для вирішення завдань оптимізації та моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, аналогічних природному відбору в природі.	<i>Rodolfo Dufo-López [71], Ghada Merei [73], BK Bala [89], Katsigiannis YA [93] Tarkeshwar, V [90] Akbar Maleki [91] S. Jiménez-Fernández [92]</i>
Particle swarm optimization	<i>James Kennedy, Russel C. Eberhart</i>	1995	Метод чисельної оптимізації, для використання якого не потрібно знати точного градієнта оптимізованої функції.	<i>Bhumkittipich K [94], Subho Upadnyay [95], Victor M. Sanchez [96]</i>
Метод по-координатного спуска	<i>Philipp Ludwig von Seidel</i>	1874	Відомий як метод покоординатного спуску, є ітераційним методом для вирішення системи лінійних рівнянь. Являє модифікацію методу Гаусса, яка полягає в тому, що при обчисленні чергового наближення використовуються раніше отримані координати.	<i>B. Ould. Bilal [81], D. Yamegueu [77], C. E.C. Nogueira [55], Huneke F [97], Chedid R [98] и другие</i>

При вирішенні оптимізаційної задачі використовується генетичний алгоритм пошуку найбільш пристосованою особини (компонування системи), здатної протистояти зовнішнім і внутрішнім збуренням. Математична модель включає в себе ФЕП, ВЕУ, АБ, ДЕС, мікро-ГЕС паливні елементи, електролізер і т.д.

На рис. 1.1 представлений інтерфейс оптимізаційного комплексу HOGA.

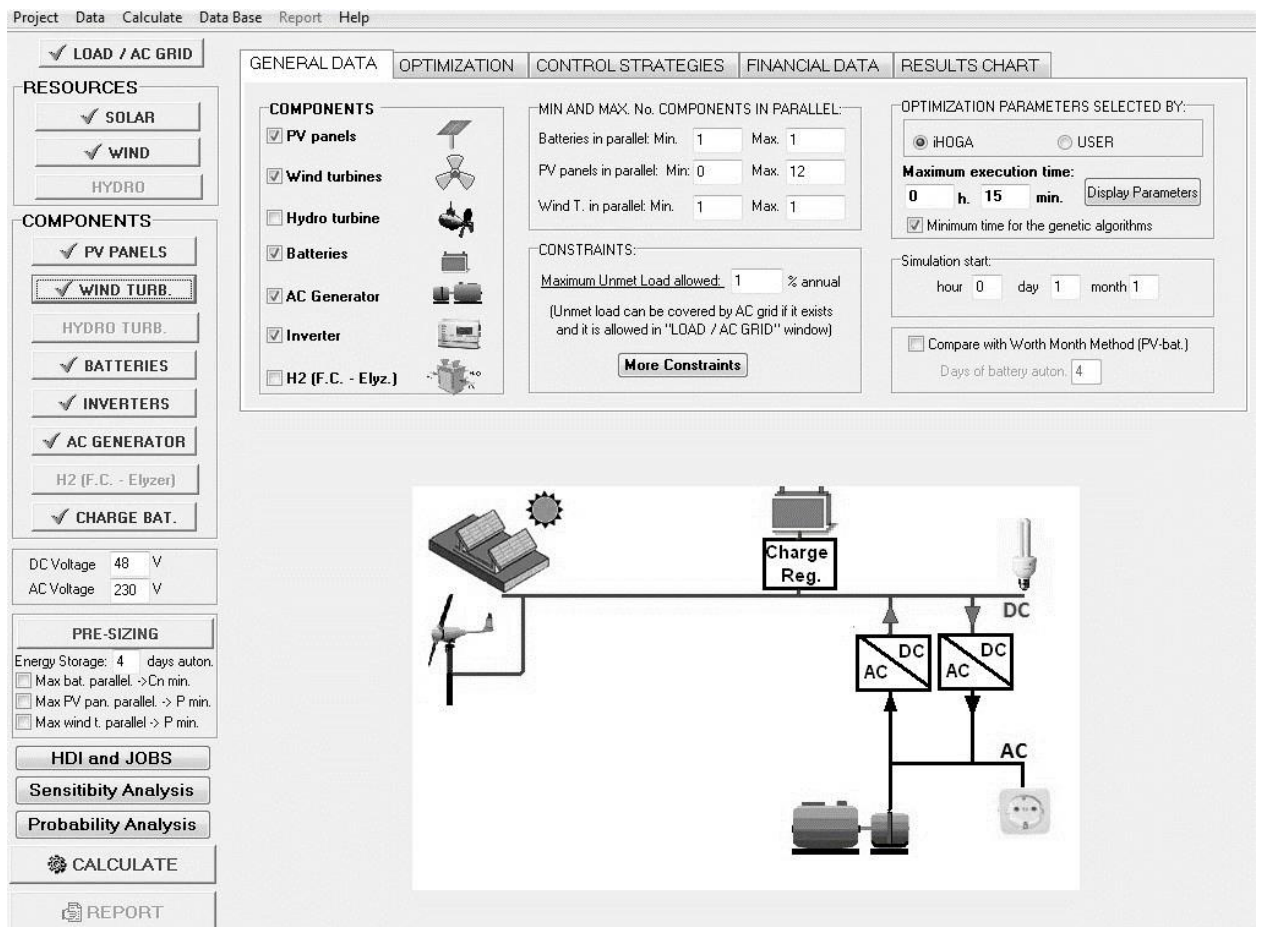


Рисунок 1.1 – Інтерфейс оптимізаційного комплексу HOGA

В даний час оптимізаційний комплекс HOGA активно застосовується на території Європи і Британських островів.

- Hybrid optimization modeling software (HOMER, США) Розробники - Peter Lilienthal, Marilyn Walker

Програма, що дозволяє вирішувати завдання структурної оптимізації з визначенням оптимального співвідношення встановлених потужностей основного генеруючого обладнання. У розрахункову модель входять такі елементи як: ВЕУ, ФЕП, ДЕС, АБ, мікро-ГЕС, паливні елементи, елементи зберігання водню, електролізер, а також елементи теплового навантаження. В якості цільових функцій можуть виступати капіталовкладення, споживання органічного палива, викиди CO₂ в атмосферу.

На рис. 1.2 представлений інтерфейс оптимізаційного комплексу HOMER.

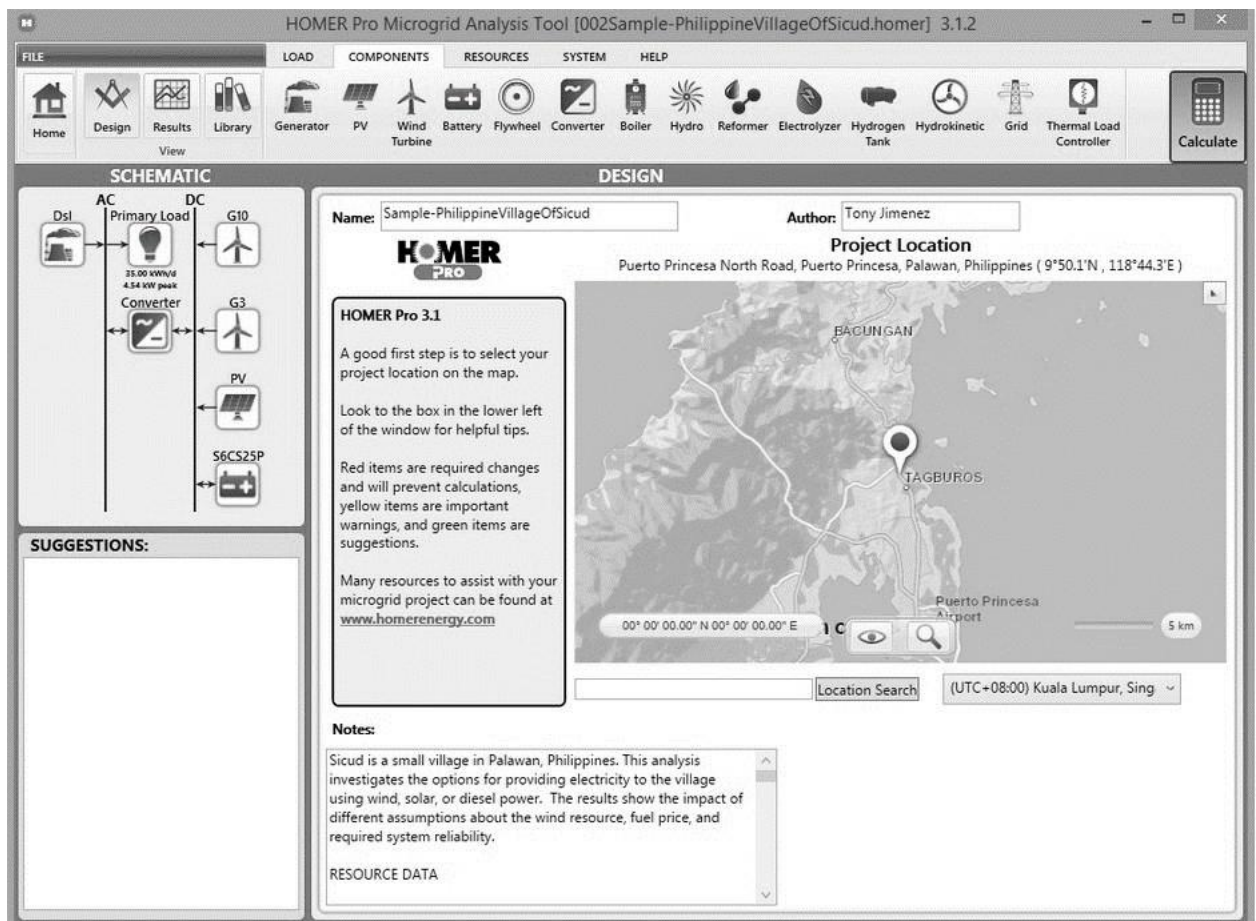


Рисунок 1.2 – Інтерфейс оптимізаційного комплексу HOMER

Оптимізаційний комплекс HOMER є найпоширенішим інструментом оптимізації АСЕП, що використовують ВДЕ і АБ.

- Hybrid power optimized for rural / remote areas (HYPORA, США)

Розробники - Minna Ranjeva, Anil K.Kulkarni

Дана програма створена для вирішення завдань структурної оптимізації АСЕП, з використанням енергії Сонця, вітру, біомаси, з можливістю акумулювання. В якості цільових функції виступає вартість виробленого кВт·год. Характерною відмінністю оптимізаційного комплексу HYPORA є відкритий вихідний код, виконаний на основі MS Excel. Відкритий внутрішній код дозволяє інженерам-дослідникам, науковцям модифікувати програму без будь-яких наслідків.

На рис. 1.3 представлений інтерфейс оптимізаційного комплексу HYPORA.

WIND		SOLAR		BIOMASS		ADDITIONAL PARAMETERS	
air density (kg/m3)	1.225	area per solar panel (m2)	1.63	cost of biomass facility (\$)	1000	proposed budget (\$)	50,000
rated wind speed (m/s)	15	module efficiency (decim)	0.144	cost of biomass fuel (\$/ton)	10	minimum % of time electricity	1
rated power (MW)	0.5	max power (W)	235	fuel conversion (kW/lb of f	0.0125	wind incentive (\$/kWh)	
		module price per panel (\$	500	max power (kW)	500	solar incentive (\$/KWh)	
hub height for wind speed data	100	inverter cost (\$)	1000			biomass incentive (\$/kWh)	
wind turbine height (m)	100	rate of interest (decimal)	0.015			wind incetive (%)	
blade radius (m)	19					solar incentive (%)	
swept area (m2)	1134.114948					biomass incentive (%)	
rate of interest (decimal)	0.06						
years for payment	20						
Cost of O&M (\$/kWh)	0.02						
Cost of Generator (\$/kW)	1000						
Cost of Turbine (\$/m^2)	1400						
Exponent for power law	0.142857143						
cut-in wind speed (m/s)	4						
cut-out wind speed (m/s)	25						

Рисунок 1.3 - Інтерфейс оптимізаційного комплексу HYPORA

Оптимізаційний комплекс HYPORA є менш поширеним інструментом оптимізації в порівнянні з вищеописаними HOGA, HOMER.

Окремо виділимо програмне-обчислювальні комплекси, що дозволяють вирішувати приватні завдання при комбінованому застосуванні ПДЕ і АБ.

- PolySun (Німеччина) - обчислювальний комплекс, який розглядає роботу сонячних колекторів та гідравлічних систем;

- TRNSYS (США) - програма для математичного моделювання систем теплопостачання та електропостачання від ФЕП.
- ENVI-MET (Німеччина) - програма для визначення фотоелектричного і вітроенергетичного потенціалу території.
- energyPRO (США) - комплекс для моделювання техніко-економічних показників енергетичних систем.
- Power System Simulation - програмний комплекс для укрупненого зонування територій на предмет використання ВДЕ.

Висновок. До теперішнього часу виконано велику кількість робіт, присвячених використанню ВДЕ в АСЕП. Представлені математичні моделі оптимізаційних комплексів реалізовані за допомогою різних засобів комп'ютерного програмування (C ++, MS Excel, JAVA і ін.). Відзначимо переваги та недоліки даних комплексів.

1.6. Переваги та недоліки комплексів підвищення енергетичної ефективності систем електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії

Серед переваг зазначених оптимізаційних комплексів слід зазначити, що вони вирішують задачу оптимізації АСЕП з вибором оптимального співвідношення генеруючих потужностей. Також представлені оптимізаційні комплекси мають зручний інтерфейс для користувача, що робить роботу більш комфортною. Є відкриті бета-версії для ознайомлення користувача з можливостями оптимізаційних комплексів, що в свою чергу дозволяє найбільш ефективно підібрати програму для розв'язуваної задачі.

У той же час представлені оптимізаційні комплекси мають і недоліки, до яких можна віднести наступні.

1. Використання в розрахунках середньомісячної сонячної радіації.
2. Використання розподілу швидкостей вітру, побудованого на основі середньорічної (середньомісячної) швидкості вітру і відсутність обліку

випадкового характеру динаміки цієї швидкості (випадкового характеру тривалості часових інтервалів протягом яких швидкість знаходиться в межах заданого діапазону).

3. Відсутність кореляції між параметрами навколишнього середовища.
4. Застосування середньорічний навантаження (HYPORA).
5. Відсутність обліку впливу температури навколишнього середовища на вольт-амперні характеристики (ВАХ) фотоелектричних перетворювачів, температури і тиску повітря на вироблення електроенергії вітроенергетичними установками.
6. Відсутність електричних розрахунків миттєвих режимів.
7. Відсутність обліку втрат енергії в елементах трансформації, перетворення і передачі електроенергії і досить докладного обліку капіталовкладень в ці елементи.
8. Відсутність можливості (у користувача) доповнювати систему новими елементами і змінювати структуру АСЕП.
9. Відсутність обліку показників надійності електропостачання споживачів АСЕП.

1.7 Постановка завдання роботи

Мета даної роботи полягає в розробці методики комплексного підвищення енергетичної ефективності АСЕП, що використовують ВДЕ, АБ, елементи трансформації, перетворення і розподілу електроенергії, як без врахування впливу надійності елементів на показники надійності електропостачання споживачів АСЕП, так і з огляду на цей впливу.

Подібна постановка вимагає створення методики і реалізує її структури і параметрів автономних енергокомплексів на основі ВДЕ і АБ. Передбачається, що при комплексній оптимізації без урахування надійності, будуть виконуватися наступні вимоги:

1. При аналізі показників відновлюваних природних енергоресурсів, використовуються реальні масиви параметрів навколишнього середовища, зафіксовані на найближчій від АСЕП автоматичною метеостанцією. Такий підхід дозволяє максимально наблизити розрахункові умови роботи АСЕП до реальних умов експлуатації, за рахунок високої деталізації параметрів навколишнього середовища і обліку кореляції між ними.

2. Врахування техніко-економічні показники використовуваних елементів АСЕП, а саме їх капіталовкладення, вартість доставки і установки, щорічні витрати, технічні обмеження при експлуатації (за паспортними даними заводу виробника) і т.д.

3. Використання правила розподілу електричних навантажень за елементами АСЕП, виражені у вигляді логічних умов і ряду техніко-експлуатаційних обмежень (наприклад, пропускні спроможності СІН, БІН, максимальний заряд АБ і т.д.). Такі правила виконуються для кожного кроку розрахункового періоду і забезпечують максимальну економію палива.

4. Розрахунки режимів роботи АСЕП враховуються протягом усього циклу років метеоспостережень, з кроком одну годину, з подальшим усередненням основних експлуатаційних параметрів за елементами АСЕП (генерація за елементами, пряме постачання споживача, заряд / розряд АБ, споживання дизельного палива, електричні втрати). Усереднені параметри наводяться до повного циклу експлуатації АСЕП (наприклад, 20 років) з визначенням числа замін АБ і їх вартості, з урахуванням коефіцієнта дисконтування (за весь період експлуатації), критерію економічної ефективності - середньорічних наведених витрат на одиницю відпущеної електроенергії.

5. При оптимізації використовується метод покоординатного спуску з подальшою перевіркою отриманого складу обладнання на дотримання умов оптимальності.

Виконання сукупності представлених положень, реалізованих в рамках методики, дозволяє визначити оптимальні значення встановлених

потужностей елементів генерації, акумулювання, передачі і перетворення електроенергії без урахування надійності елементів. Таке рішення дає хороше наближення для більш складної оптимізації, з урахуванням надійності елементів. Крім того, це рішення має самостійний інтерес, оскільки одержувані параметри близькі до оптимальних з урахуванням надійності і для досить простих систем можуть бути прийняті в якості кінцевого рішення задачі оптимізації.

Для обліку надійності електропостачання при оптимізації АСЕП використовується підхід де імітується робота АСЕП протягом розрахункового періоду (20 років експлуатації, 175200 годин). Весь цей період розбивається на однакові малі інтервали часу. Причому протягом кожного інтервалу часу вважаються незмінними: значення метеопараметрів (хмарність, швидкість вітру, тиск, температура повітря), значення середнього за інтервал кута піднесення сонця над горизонтом, навантаження споживачів, склад працездатного обладнання АСЕП (генераторів, елементів перетворення і передачі електроенергії, а також елементів силової електроніки), навантаження генеруючого і мережевого устаткування, енергія заряду або розряду АБ. Доцільно величину малого інтервалу (або малого кроку за часом) прийняти рівною одній годині. Це пов'язано з тим, що графіки електричних навантажень споживачів, як правило, розбиваються на тимчасові інтервали з постійним навантаженням в рамках розглянутого проміжку часу. Також в рамках кожного розглянутої години розраховуються основні астрономічні параметри Сонця, які дозволяють при їх фіксованих значеннях досить точно визначити обсяг енергії, що надходить з урахуванням хмарності на розглянутій території за годину.

Вважається, що кожен елемент АСЕП може знаходитися в наступних станах: робота, простій в холодному резерві, простій на планові технічні обслуговування (ТО) або ремонти, простій на післяаварійні відновлювальні ремонти, вимушений простій через зупинки інших елементів. Елемент вважається працездатним, якщо він знаходиться в роботі або холодному

резерві. Надійність електропостачання споживачів АСЕП з ВДЕ залежить від поєднання випадкових метеопараметрів і випадкових аварійних відмов елементів.

Для обліку цих випадкових факторів виконується серія розрахунків роботи АСЕП протягом розрахункового періоду. У кожному розрахунку серії вибирається (за допомогою датчика випадкових чисел) відповідність між роками періоду метеоспостережень і роками розрахункового періоду, на основі якого визначаються метеопараметри для кожної години розрахункового періоду і імітуються аварійні відмови. Потім визначаються середні по серії показники для кожного року розрахункового періоду. Передбачається, що при комплексній оптимізації з урахуванням надійності будуть виконуватися наступні вимоги.

Повністю дотримуються наведені положення (1-3) представлені в задачі оптимізації АСЕП без урахування надійності.

4. Протягом розрахункового періоду враховується напрацювання кожного елемента АСЕП.

5. Враховуються аварійні відмови елементів з використанням датчиків випадкових чисел і характеристик надійності елементів.

6. Визначається недовідпуск електроенергії.

7. Визначаються середні по серії показники кожного року: витрата палива, витрати на усунення аварійних зупинок, ТО, капітальні ремонти, і витрати на заміну АБ.

Реалізація представленої методики дозволяє вирішувати більш якісно наступні завдання:

1. Визначення оптимальних значень встановлених потужностей елементів АСЕП.

2. Облік впливу надійності елементів на надійність електропостачання споживачів при вирішенні завдання комплексної оптимізації АСЕП.

1.8 Висновки до розділу

Актуальність розробки заходів підвищення енергетичної ефективності полягає в тому, що ще на стадії проектування реальної АСЕП стає можливим не тільки вирішити завдання вибору оптимального співвідношення встановлених потужностей елементів АСЕП, що використовують ВДЕ і АБ, але і виконати перевірку працездатності систем при даному складі обладнання та практично при всіх можливих поєднаннях параметрів навколишнього середовища і їх можливої динаміці.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення параметрів навколишнього середовища

Слід зазначити, що потужність електрогенераторів, що використовують ВДЕ, має стохастичний характер, пов'язаний з випадковими змінами швидкості вітру, хмарності та інших параметрів навколишнього середовища. Крім того, потужність сонячних енергоустановок в нічний час дорівнює нулю.

У цих умовах ефективно застосування в АСЕП АБ, що дозволяють наблизити графік видачі потужності від ВДЕ до графіка навантаження споживачів.

Для обліку випадкового характеру швидкості вітру та інших параметрів навколишнього середовища, у багатьох роботах використовуються різні закони розподілу ймовірностей, параметри яких підбираються на основі аналізу статистики метеоспостережень. Застосування такого підходу при розрахунках режимів функціонування АСЕП дозволяє обґрунтовано проводити їх оптимізацію при використанні одного з двох зазначених видів відновлюваної енергетики без використання АБ.

Однак при розгляді поєднання ВЕУ і ФЕП, а також АБ виникають наступні вимоги:

1. Облік кореляції між швидкості вітру, хмарністю, тиском та іншими параметрами навколишнього середовища.
2. Облік випадкового характеру тривалості часових відрізків, протягом яких різні метеопараметри залишаються в межах деяких кордонів.

Облік першої вимоги необхідний для коректної оцінки, очікуваної сумарної потужності, що генерується ВЕУ і ФЕП. Облік другої вимоги необхідний для оцінки, очікуваної тривалості відрізків часу з різним, в тому числі, низьким рівнем генерується від ВДЕ і правильного вибору встановленої ємності АБ.

Наявні в даний час імовірнісної залежності, що отримана в результаті обробки метеоспостережень, для більшості регіонів не дозволяють врахувати зазначені вимоги. Єдина можливість такого обліку полягає в безпосередньому використанні в розрахунках АСЕП результатів метеоспостережень автоматичних метеостанцій. Такі станції в останні десятиліття з'явилися навіть в дуже віддалених населених пунктах. Вони проводять синхронні виміри основних параметрів навколишнього середовища (хмарності, швидкості вітру, тиску та ін.) з кроком, рівним, як правило, третини години. Для більшості метеостанцій тривалість періоду спостережень в даний час складає не менше 8 років.

Далі наведені використовувані в роботі підходи до опису параметрів навколишнього середовища (інтенсивність сонячного випромінювання, швидкість вітру, хмарність, температура навколишнього середовища).

Функція інтенсивності сонячного випромінювання

Для визначення функції інтенсивності сонячного випромінювання необхідно знати основні астрономічні параметри Сонця. В рамках запропонованої методики використана програма, що описує функцію інтенсивності сонячного випромінювання обраної місцевості. В якості первісних даних виступають: широта місцевості; довгота місцевості; часовий пояс. Нижче представлений алгоритм розрахунку функції інтенсивності сонячного випромінювання.

Визначається кут відміни Сонця над горизонтом - Р.І. Cooper [47]:

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right], \quad (2.1)$$

де d – порядковий номер дня в році.

Кут піднесення Сонця над горизонтом, (град.):

$$\alpha = 90 - \varphi + \delta, \quad (2.2)$$

де φ - широта місцевості.

Потім визначається атмосферна маса, розрахунок якої виконується згідно методики, викладеної - F. Kasten [48]:

$$AM = \frac{1}{\sin \alpha}. \quad (2.3)$$

Кількість світлових годин в день визначається за такою формулою - Jasmina Radosavljević [46]

$$h = \frac{2}{15} \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta). \quad (2.4)$$

Інтенсивність сонячного випромінювання визначається, виходячи з наступного виразу - A.V. Meinel [49] (Вт/м²)

$$I_{\text{сон}} = 1353 \cdot 0,7^{(AM^{0,678})}. \quad (2.5)$$

Коефіцієнти ослаблення інтенсивності сонячного випромінювання розраховувалися, виходячи з миттєвих значень загальної хмарності на розглянутій території Jasmina Radosavljević [46], які визначаються за даними автоматичної метеостанції на даний момент часу.

На рис. 2.1 представлені результати розрахунку функції інтенсивності сонячного випромінювання протягом року для Мукачівського та Хустського районів.

Як видно з отриманих результатів використовувана методика розрахунку функції інтенсивності сонячного випромінювання, дозволяє

враховувати ослаблення інтенсивності сонячного випромінювання за рахунок хмарності.

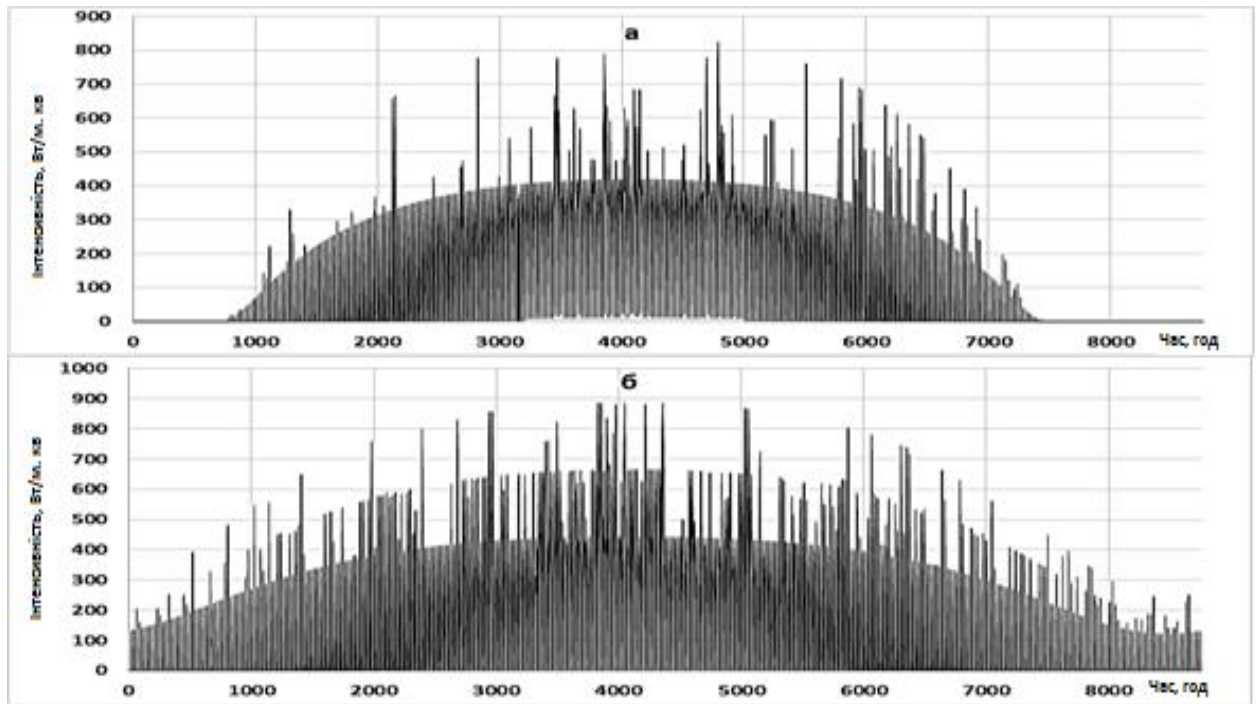


Рисунок 2.1 – Інтенсивність сонячного випромінювання протягом року в Мукачівському (а) та Хустському (б) районах з урахуванням хмарності по даними 2016 року

Функція швидкості вітру

Використання реального масиву параметрів навколишнього середовища дозволяє враховувати не тільки кореляцію між параметрами навколишнього середовища, а й випадковий характер тривалості часових інтервалів, в яких параметри навколишнього середовища зберігають постійні значення або перебувають в заданому вузькому діапазоні.

На рис. 2.2 показана зміна швидкості вітру протягом січня 2016 року Закарпатської області (за результатами метеоспостережень).

Температура навколишнього середовища

Температура навколишнього середовища має великий вплив на ККД ФЕП і генерацію ВЕУ. На рис. 2.3 показана температура навколишнього середовища на різних територіях Закарпатської області.

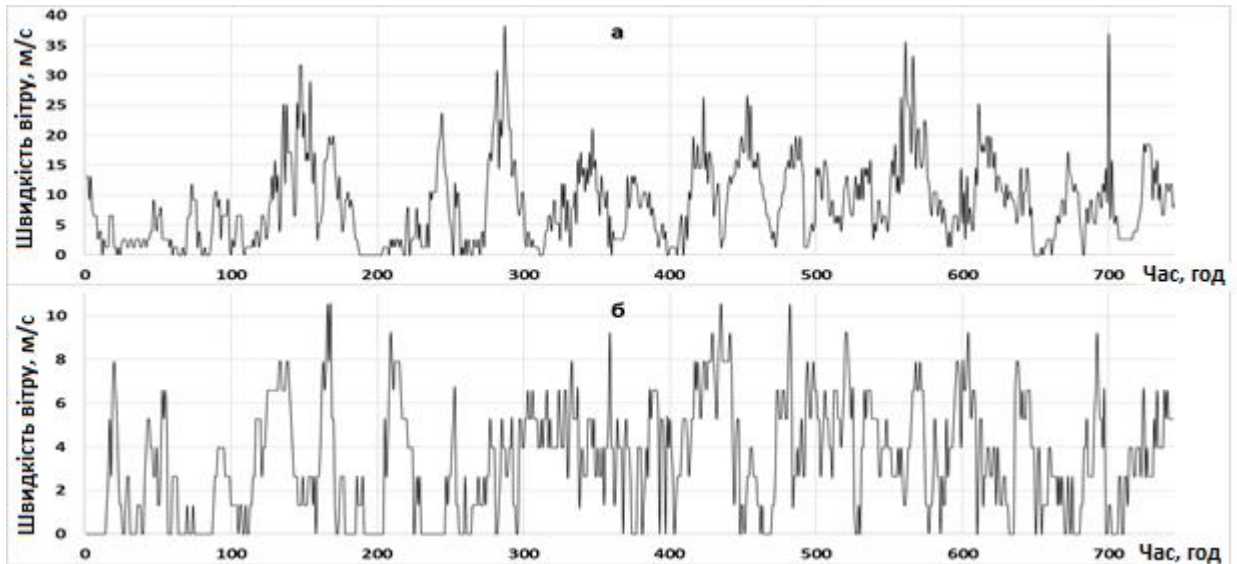


Рисунок 2.2 – Функція швидкості вітру Закарпатської області на висоті 10 метрів протягом січня 2016 року

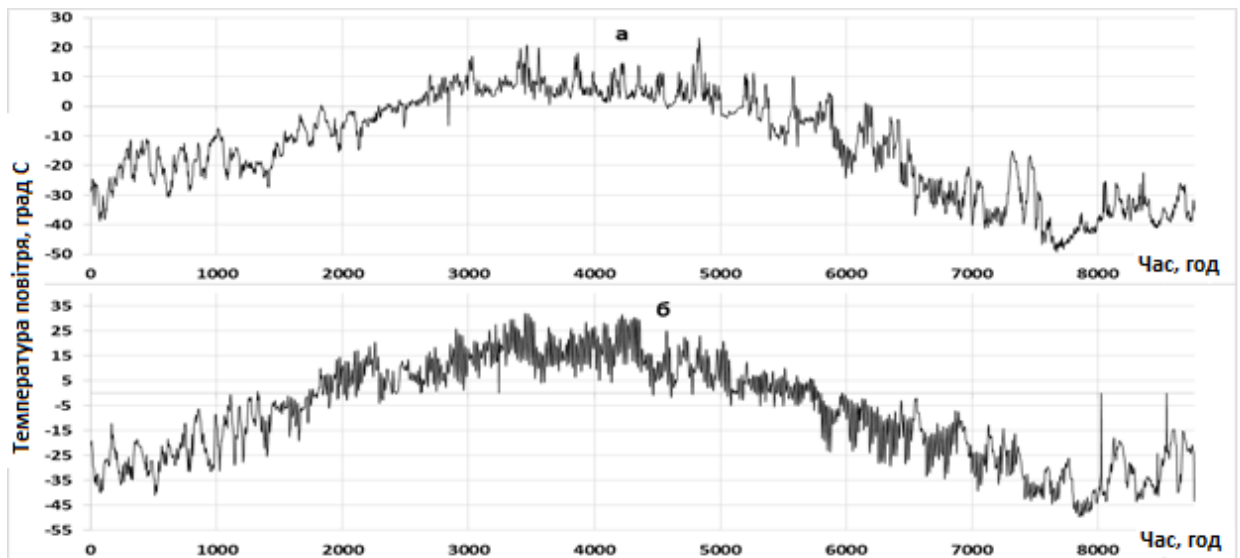


Рисунок 2.3 - Температура навколишнього середовища Закарпатської області впродовж 2016 року

2.2 Математичне моделювання елементів АСЕП

Модель АСЕП складається з елементів генерації (ФЕП, ВЕУ, ДГУ), трансформації (ТР), перетворення (СІН, БІН), передачі (ПЛ) і акумулювання (АБ) електроенергії. На рис. 2.4 представлена структурна схема АСЕП, яка розглядається в цій роботі.

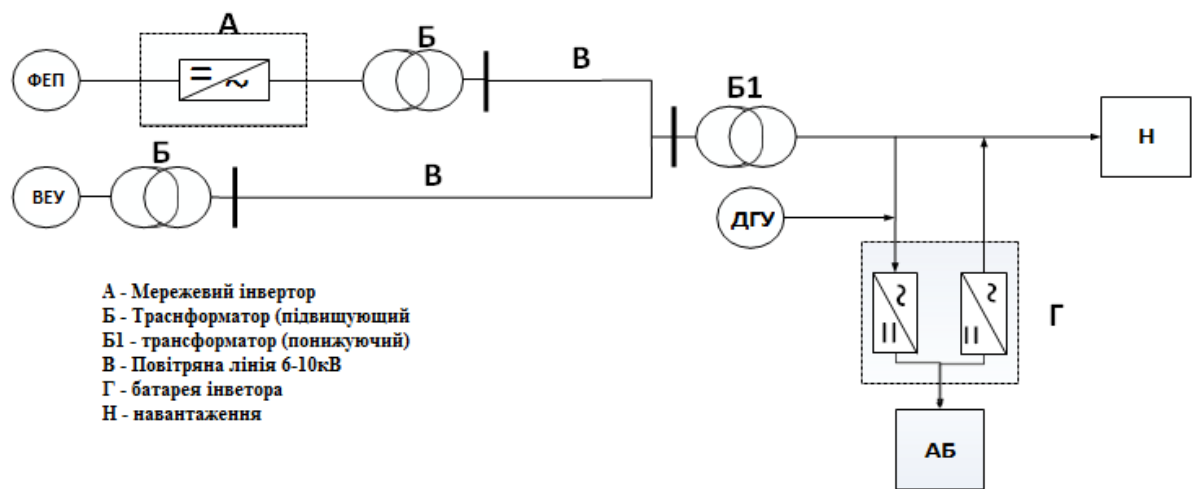


Рисунок 2.4 - Структурна схема АСЕП, що використовує ВДЕ, а також елементи трансформації, перетворення, передачі і акумулювання електроенергії

Далі представимо математичні моделі елементів АСЕП.

Фотоелектричні перетворювачі.

Реалізована модель ФЕП, запропонована Hans. S Rauschenbach [16], яка дозволяє моделювати основні експлуатаційні параметри фотоелектричного перетворювача за паспортними даними заводу-виготовлювача, інтенсивності сонячного випромінювання і температурі навколишнього середовища.

Значення напруги ФЕП в залежності від інтенсивності сонячного випромінювання

$$U_{\text{ФЕП}} = U_{\text{ФЕП}}^n + \lg \frac{I_{\text{сон}}}{I_e}, \quad (2.6)$$

де $U_{\text{ФЕП}}^n$ - напруга фото-електричного перетворювача (ФЕП) в точці максимального відбору потужності;

I_e - еталона інтенсивність сонячного випромінювання при, якій випробовували ФЕП ($U_{\text{ФЕП}}$ визначається при еталонній температурі оточуючого середовища).

Зміна напруги ФЕП при коливаннях температури визначається з вираження

$$U_{\text{ФЕП}}^{\text{term}} = U_{\text{ФЕП}} - k_u^t (T - T_0), \quad (2.7)$$

де T - фактична температура;

T_0 - стандартна температура;

k_u^t - температурний коефіцієнт для напруги кремнієвої ФЕП.

Генерована потужність ФЕП

$$P_{\text{ФЕП}} = I_{\text{сон}} \cdot S \cdot k_p \cdot \eta, \quad (2.8)$$

де $I_{\text{сон}}$ - інтенсивність сонячного випромінювання;

S - площа фотоелемента;

k_p - коефіцієнт, який враховує вплив температури на потужність;

η - номінальний ККД сонячного елемента.

Струм ФЕП

$$I_{\text{ФЕП}} = \frac{P_{\text{ФЕП}}}{U_{\text{ФЕП}}^{\text{term}}}. \quad (2.9)$$

На рис. 2.5. Показано зміну основних експлуатаційних параметрів протягом року для ФЕС при встановленій потужності ФЕП 225 кВт (сумарною площею тисяча чотиреста шістьдесят чотири м²) згідно метеоданих 2016 року.

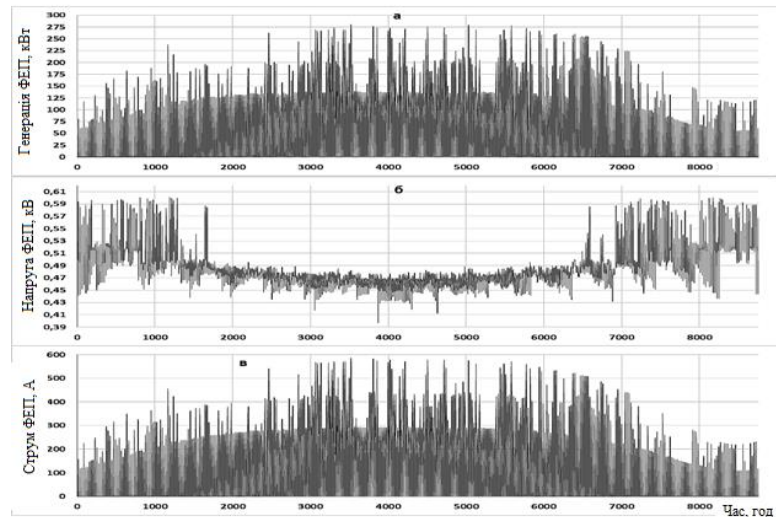


Рисунок 2.5 - Генеруюча потужність ФЕП (а), напруга ФЕП (б), струм ФЕП (в) в Мукачівському районі з урахуванням хмарності і впливу температури навколишнього середовища на ВАХ ФЕП (за даними метеоспостережень 2016 року)

На рис. 2.6 більш детально показано зміна генерації ФЕП в січні і червні (за даними метеоспостережень 2016 року)

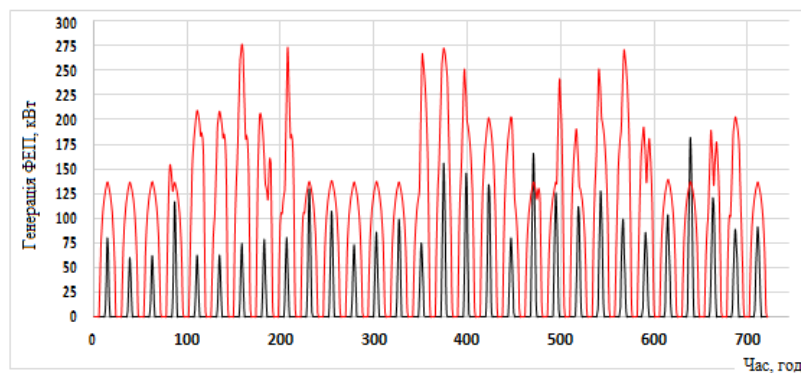


Рисунок 2.6 - Генеруюча потужність ФЕП в січні (чорний) і червні (червоний) в Мукачівському районі (за даними метеоспостережень 2016 року)

Вітроенергетичні установки

Розрахунок основних експлуатаційних параметрів ВЕУ виконується по - Стичинський З.А. [17], Peter Musgrove [74].

Генеруюча потужність ВЕУ визначається з виразу

$$P_{BEU} = \frac{\rho}{2} \cdot F_{BEU} \cdot V_B^3 \cdot C_p, \quad (2.10)$$

де V_B - розподіл швидкості вітру на висоті установки вітроколеса;

ρ - густина повітря;

F - площа вітроколеса;

C_p - коефіцієнт потужності.

На рис. 2.7 демонструється генеруюча потужність ВЕС при установці 5 ВЕУ з вертикальною віссю обертання (rotor Darrieus) і одиничною потужністю агрегату 10 кВт (сумарна встановлена потужність 50 кВт), за даними метеоспостережень 2016 року.

Представлена модель дозволяє по миттєвим характеристикам швидкості вітру, параметрам навколишнього середовища і конструктивним характеристикам ВЕУ визначити її миттєву генерується потужність.

Накопичувачі енергії (НЕ)

Стохастичний режим роботи ВЕУ і ФЕП виправдовує застосування АБ в АСЕП. Інтеграція АБ значно покращує роботу системи. Це обумовлено стабілізуючим ефектом, що впливає на експлуатаційні параметри АСЕП-Thomasan A [76]. При розрахунках АСЕП в даній роботі передбачено використання свинцево-кислотних, літій іонних і нікель-кадмієвих АБ. При цьому математичні моделі АБ виконані на основі методики викладеної - Tremblay O. [75].

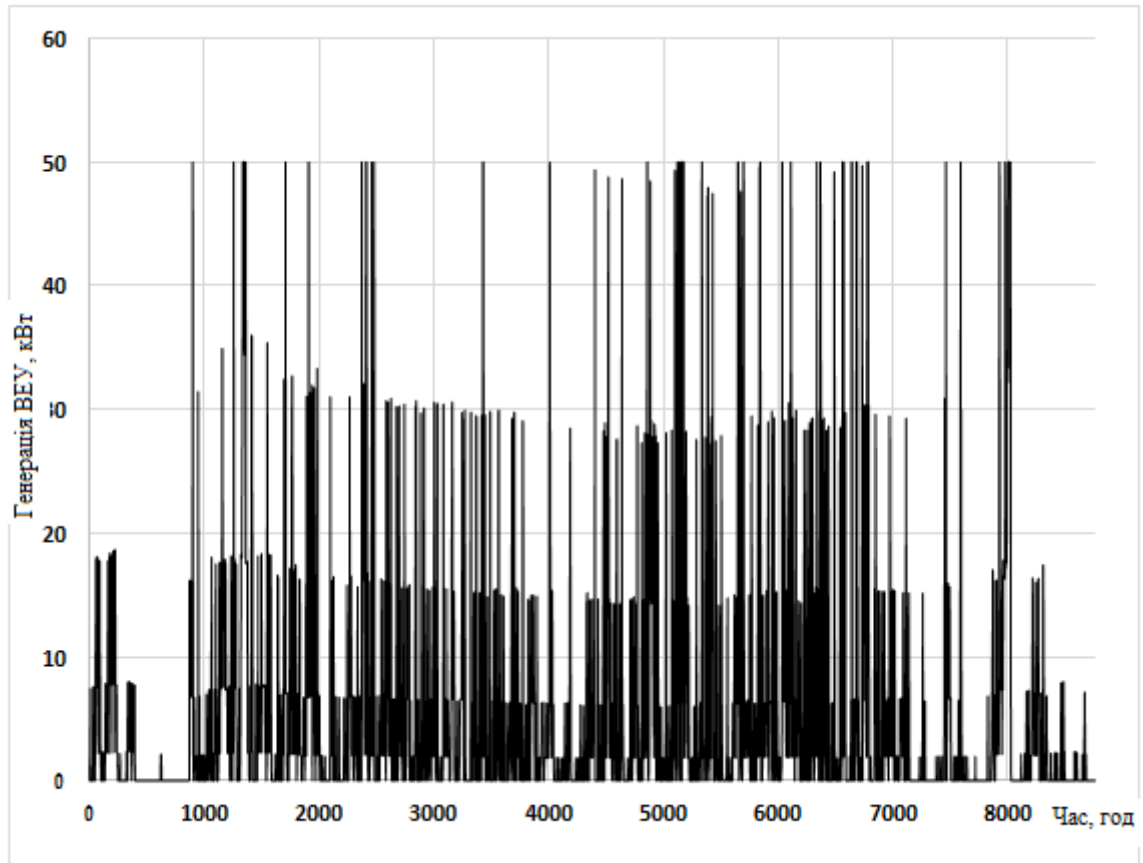


Рисунок 2.7 - Генеруюча потужність ВЕС з урахуванням висоти установки вітроколеса і зміною щільності повітря за даними метеоспостережень 2016 року

Розглянемо математичну модель АБ.

Внутрішня енергія АБ в кінці часового інтервалу

$$W_{AB}^K = W_{AB}^H + P_{ZH} \Delta t, \quad (2.11)$$

де W_{AB}^H - ємність АБ на початку інтервалу;

P_{ZH} - функція вхідної потужності ($P_{ZH} > 0$ - заряд АБ, $P_{ZH} \leq 0$ - розряд АБ);

Δt - тривалість інтервалу.

Внутрішня енергія АБ розраховується із формули:

$$W_{AB}^H = E_{AB}^H U_{AB}^H, \quad (2.12)$$

де E_{AB}^H - ємність АБ на початку інтервалу Δt .

Внутрішній опір АБ:

$$R_{AB} = \frac{(U_{AB}^H)^2}{W_{AB}^H}. \quad (2.13)$$

На рис. 2.8 показана зміна напруги АБ (а), зміна стан заряду АБ (б) і внутрішнього опору АБ (в) протягом року.

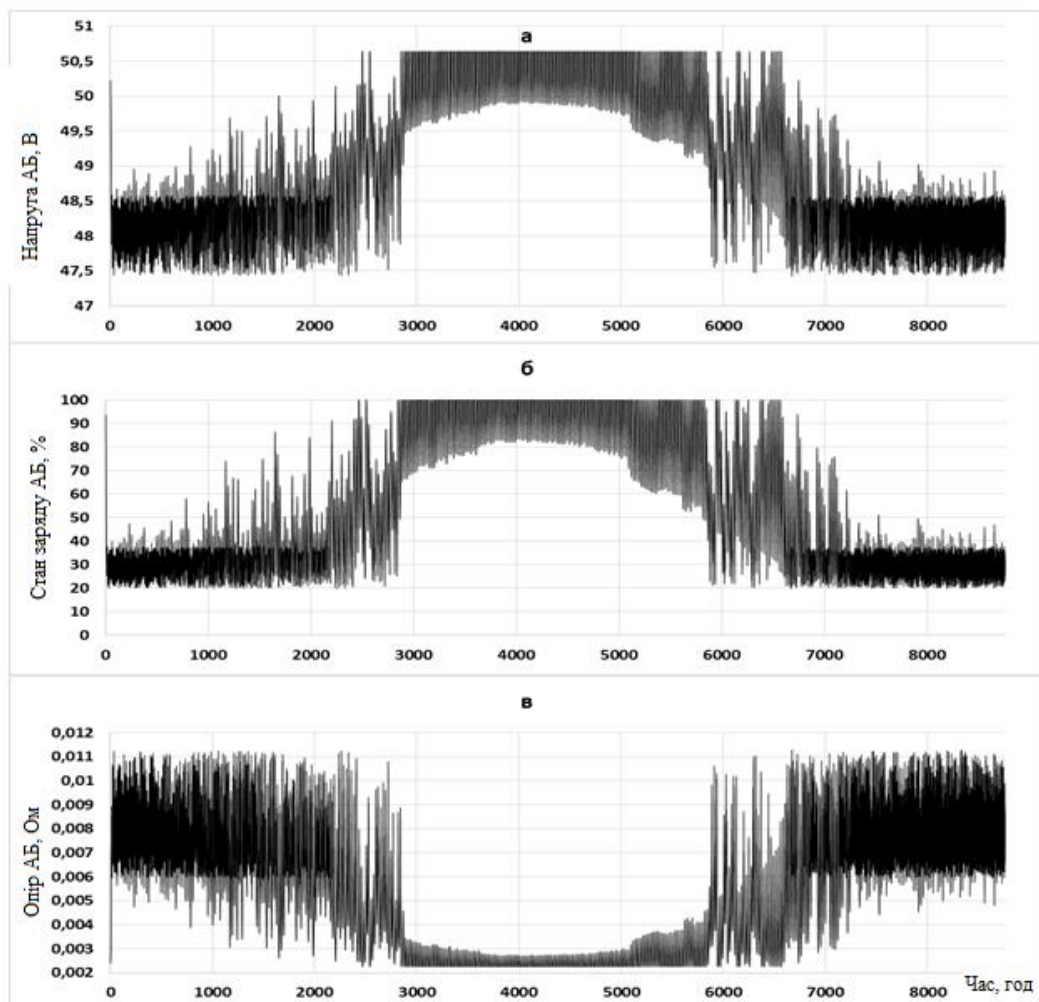


Рисунок 2.8 - Напруга АБ (а), стан заряду АБ (б), опір АБ (в) протягом року

Представлена модель дозволяє визначати основні експлуатаційні параметри АБ.

Дизель-генераторні установки

При комбінованому використанні ВДЕ і накопичувача енергії, дизель-генератор є замикаючим резервним джерелом. При моделюванні ДЕС використовуються дані заводу - виробника. Розрахунок моделі ДЕС здійснюється за методикою Rodolfo Dufo-López [71], в якій споживання дизельного палива визначається з наступного виразу

$$B_{ДЕС} = \varphi_{ДЕС} P_{ДЕС}, \quad (2.14)$$

де $P_{ДЕС}$ - миттєва потужність, що генерується;

$\varphi_{ДЕС}$ - енергетична характеристика ДЕС.

Навантажувальні характеристики споживачів служать вихідними даними, що описують зміну потреб і вносять збурення у всю систему електропостачання. Їх характер залежить від безлічі факторів, таких як пори року, вид діяльності споживача і т.д. Найбільш зручним способом задання залежності потужності споживачів від часу, є графіки навантажень.

На рис. 2.9 представлена добова навантажувальна характеристика АСЕП в січні і червні.

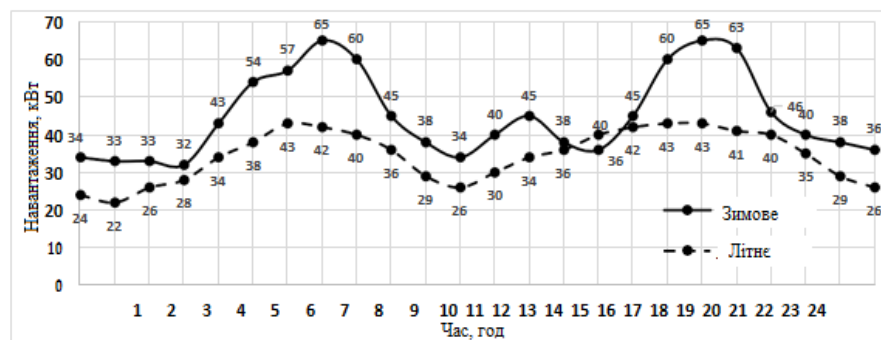


Рисунок 2.9 - Усереднені добові графіки навантаження АСЕП в січні і червні

Елементи силової електроніки

До елементів силової електроніки відносяться СІН, БІН, ВП.

СІН призначені для перетворення постійного струму від ФЕП в змінний. Одним з основних експлуатаційних параметрів СІН є його ККД, який залежить від величини вихідної напруги ФЕП згідно рівнянь:

$$\eta_{\text{сін}}(t) = \begin{cases} \eta_{\text{сін}}^1(t); \{U_{\text{сін}}^1 \leq U_{\text{ФЕП}}^{\text{term}}(t) \leq U_{\text{сін}}^2\} \\ \eta_{\text{сін}}^2(t); \{U_{\text{сін}}^2 \leq U_{\text{ФЕП}}^{\text{term}}(t) \leq U_{\text{сін}}^3\} \\ \dots \\ \eta_{\text{сін}}^n(t); \{U_{\text{сін}}^n \leq U_{\text{ФЕП}}^{\text{term}}(t) \leq U_{\text{сін}}^{n+1}\} \end{cases}, \quad (2.15)$$

де $U_{\text{сін}}^1, U_{\text{сін}}^2, \dots, U_{\text{сін}}^n$ - паспортні значення вхідної напруги СІН.

Установлена потужності СІН вибирається виходячи із наступного

$$P_{\text{уст}}^{\text{сін}} \geq P_{\text{уст}}^{\text{ФЕП}}. \quad (2.16)$$

Ця вимагає, щоб встановлена потужність СІН була не меншою встановленої потужності ФЕП.

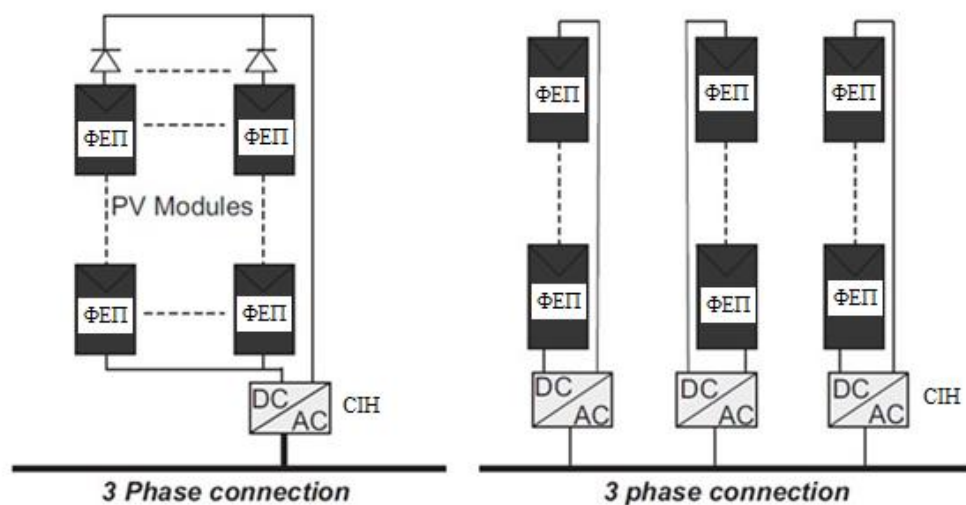


Рисунок 2.10 - Можливі схеми з'єднання СІН з ФЕП

Для досягнення необхідного значення встановленої потужності СІН збираються в блоки шляхом паралельного з'єднання. Найбільш поширені схеми з'єднання СІН представлені на рис. 2.10 - L. Hassaine, E.Salas [83,84,85,86,87].

Представлені схеми з'єднання ФЕП і СІН, мають свої переваги і недоліки, які можливо більш детально розглянути під час вирішення завдання надійності в АСЕП, що використовують ВДЕ і АБ.

Слід зазначити, що сучасні БІН мають гібридну (комбіновану) технологію перетворення напруги. Гібридні БІН - це пристрої, що дозволяють працювати з джерелом змінного струму для зарядки АБ (режим випрямляча), а також перетворення напруги з АБ в змінний сигнал. Встановлена потужність БІН вибирається, виходячи з наступного умови:

$$P_{уст}^{bin} = \max \left\{ P_{уст}^{in}, P_{уст}^{en} \cdot \left(I_{AB-\max}^{don} n_{AB} U_{AB} \right) + P_H^{min} \right\}, \quad (2.17)$$

де $P_{уст}^{in}$ - установлена потужність гібридного БІН в режимі інвертора;

$P_{уст}^{in}$ - установлена потужність гібридного БІН в режимі випрямляча;

$I_{AB-\max}^{don}$ - максимально допустимий струм розряду АБ;

n_{AB} - кількість АБ;

$U_{AB}^{ном}$ - номінальна напруга АБ;

P_H^{min} - мінімальне навантаження споживача.

Перетину провідників вибираються по нагріванню при максимально-можливих потужностях ФЕП або ВЕУ. При цьому вибирається найменше перетин з ряду стандартних перетинів, які відповідають зазначеним вимогам.

2.3 Висновки до розділу

Проведено моделювання елементної бази АСЕП, що дозволяє вибрати оптимальні режими роботи АСЕП.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Правила розподілу навантажень між електрогенеруючими установками

Розрахунок даної компоновки АСЕП проводиться для всіх років періоду метеоспостережень, отриманих з найближчої від АСЕП автоматичної метеостанції з кроком рівним одній годині. При цьому параметри навколишнього середовища мають дорівнювати значенням, заміряних на відповідному тригодинному інтервалі, який розглядається. Розрахунки проводяться при очікуваних графіках навантаження споживачів.

Основним завданням, розв'язуваної для кожної години розрахункового періоду, є завдання розподілу навантажень між електрогенеруючими установками АСЕП. У даній роботі для вирішення даного завдання використовується наступний підхід - Карамов Д.Н. [26,27]

1. Для кожної години і роки періоду метеоспостережень визначається (виходячи з поточних параметрів навколишнього середовища і астрономічних параметрів Сонця) потенційно-можлива вироблення електроенергії ФЕП і ВЕУ (при їх заданій встановленій потужності).

2. Визначаються втрати активної потужності при передачі потенційно-можливого вироблення ФЕП і ВЕУ до споживача.

3. Якщо надходить до споживача сумарна потужність ФЕП і ВЕУ не менша поточного навантаження споживача, то вся вона покривається за рахунок ВДЕ.

4. Якщо спостерігається надлишок потужності, то він надходить на зарядку накопичувачів. У разі, коли накопичувачі вже заряджені повністю, то на відповідну величину скорочується потужність ВДЕ. Причому в першу чергу скорочується генерована потужність ВЕУ (як найбільше зношуються при роботі), а потім ФЕП.

5. Якщо сумарна потужність ВДЕ менше навантаження споживачів, то недостача потужності покривається за рахунок АБ.

6. Якщо АБ розряджені (заряд 20% від номінального), то включається необхідне число ДГУ, причому вони включаються на повну потужність і відключаються при досягненні заряду накопичувача деякого порогового значення (наприклад, 50% від номінального).

7. Якщо потужність ДЕС спільно з ВДЕ при розрядженому накопичувачі, менше навантаження споживача, то має місце недовідпуск електроенергії.

8. За відомого заряду АБ на початку розраховується години роботи АСЕП і режиму його роботи протягом цієї години визначається заряд накопичувача в кінці години.

9. За генеруючою потужністю ДЕС визначається їх погодинна витрата палива.

Розподіл навантаження проводиться для кожної години розрахункового періоду. Потім визначаються середньорічні показники (витрата палива, вироблення електроенергії ДЕС, ВЕУ і ФЕП).

Математичний опис представленого принципу розподілу навантажень за елементами АСЕП має такий вигляд.

Розраховується максимально можлива вироблення електроенергії ВЕУ і ФЕП з урахуванням поточних показників параметрів навколишнього середовища. Робота АСЕП в поточний момент часу визначається балансом потужності ВЕУ і ФЕП, навантаженням, втратами потужності в елементах розподільчої мережі. Цей баланс характеризується функцією потужності P_{Σ} , яка визначається з наступного виразу.

$$P_{\Sigma} = P_{ВЕУ}^{\max} + P_{ФЕП}^{\max} - \Sigma \Delta P - P_{спож}, \quad (3.1)$$

де $P_{спож}$ - навантаження споживача, кВт.

$\Sigma \Delta P$ - сумарні електричні втрати СЕС розраховуються згідно формули:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta P = & \Delta P_{тр-ФЕП} + \Delta P_{тр-ВЕУ} + \Delta P_{инв} + \Delta P_{нл-ФЕП} + \Delta P_{нл-ВЕУ} + \\ & + \Delta P_{тр-заг} + \Delta P_{АБ} + \Delta P_{инв1}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де $\Delta P_{тр-ФЕП}$, $\Delta P_{тр-ВЕУ}$, $\Delta P_{тр-заг}$ - електричні втрати в трансформаторах визначаються:

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \beta^2, \quad (3.3)$$

де ΔP_{xx} - втрати холостого ходу;

$\Delta P_{кз}$ - втрати короткого замикання;

β - коефіцієнт загрузки трансформатора;

$\Delta P_{нл-ФЕП}$, $\Delta P_{нл-ВЕУ}$ - електричні втрати в повітряних лініях:

$$\Delta P_{нл} = \frac{P^2}{U_{нл}^2} r_{нл} l_{нл}, \quad (3.4)$$

де $r_{нл}$ - погонний опір проводу;

$l_{нл}$ - протяжність повітряної лінії (ПЛ);

$\Delta P_{инв}$, $\Delta P_{инв1}$ - електричні втрати в інверторах:

$$\Delta P_{инв} = const, \quad (3.5)$$

$\Delta P_{АБ}$ - електричні втрати в акумуляторних батареях.

$$\Delta P_{AB} = const. \quad (3.6)$$

Функція потужності P_{Σ} є знакозмінною функцією. Якщо P_{Σ} має позитивний знак, то генерується від джерел, які використовують ВДЕ, досить для прямого постачання споживача і заряду АБ

$$P_{\Sigma}^+ = \begin{cases} P_{\Sigma}; (P_{\Sigma} > 0) \wedge (W_{AB}^{\max} - W_{AB}^{TM}) \geq \eta_{AB} \eta_{en} P_{\Sigma} \Delta t \\ \frac{W_{AB}^{\max} - W_{AB}^{TM}}{\Delta t}; (P_{\Sigma} > 0) \wedge (W_{AB}^{\max} - W_{AB}^{TM}) \geq \eta_{AB} P_{\Sigma} \Delta t, \\ 0; (P_{\Sigma} < 0) \end{cases} \quad (3.7)$$

де Δt - крок розрахунку;

W_{AB}^{TM} - мінімальне допустиме значення ємності АБ.

Якщо ж P_{Σ} має негативний знак, то генеруючої потужності недостатньо для споживача і залишок недостаючої потужності витягується з АБ

$$P_{\Sigma}^- = \begin{cases} P_{\Sigma}; (P_{\Sigma} < 0) \wedge (W_{AB}^{\min} - W_{AB}^{TM}) \geq \frac{P_{\Sigma} \Delta t}{\eta_{инв}} \\ \frac{W_{AB}^{\min} - W_{AB}^{TM}}{\Delta t} \eta_{инв}; (P_{\Sigma} < 0) \wedge (W_{AB}^{\min} - W_{AB}^{TM}) \geq \frac{P_{\Sigma} \Delta t}{\eta_{инв}} \\ 0; (P_{\Sigma} > 0) \end{cases} \quad (3.8)$$

Вираз для визначення ємності АБ в кінці розрахункової години має такий вигляд.

$$W_{AB}^K = W_{AB}^H + (P_{\Sigma}^+ + P_{\Sigma}^-) \Delta t, \quad (3.9)$$

де W_{AB}^H - ємність АБ на початку розрахункового часу.

На рис. 3.1 демонструється функція потужності АСЕП і зміна стану АБ протягом березня 2016 року. Склад обладнання ФЕП - 150 кВт, АБ - 720 кВт·год, ДЕС - 2x75 кВт.

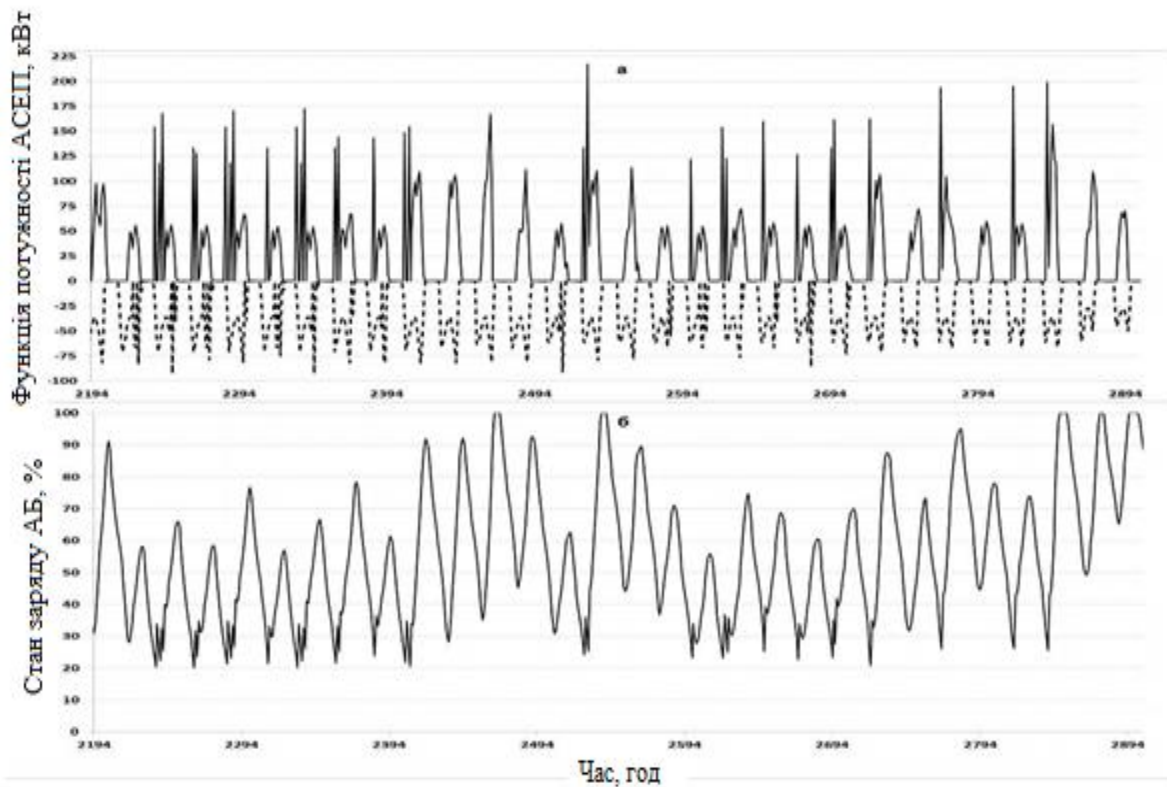


Рисунок 3.1 - Поведінка функції потужності (а) і її вплив на стан заряду АБ (б) протягом березня 2016 року

У разі нестачі потужності від джерел, які використовують ВДЕ і АБ, в роботу включається ДЕС. Для визначення моменту включення ДЕС і регулювання вихідної потужності ВЕУ і ФЕП вводиться поняття «балансової потужності системи (БПС)»

$$P_{БПС} = P_H + \Sigma \Delta P - P_{ВЕУ}^{\max} - P_{ФЕП}^{\max} - (P_{\Sigma}^+ + P_{\Sigma}^-). \quad (3.10)$$

Залежно від «балансової потужності системи» генеруючі потужності ВЕУ, ФЕП і ДЕС визначаються з представлених далі виразів

$$P_{ДЕС} = \begin{cases} 0; P_{БПС} \leq 0 \\ P_{БПС}; (P_{БПС} > 0) \wedge (P_{БПС} \leq P_{ДЕС}^{уст}) \\ P_{ДЕС}^{уст}; (P_{БПС} > 0) \wedge (P_{БПС} > P_{ДЕС}^{уст}) \end{cases} \quad (3.11)$$

На рис. 3.2 показано включення ДЕС в залежності від стану заряду АБ.

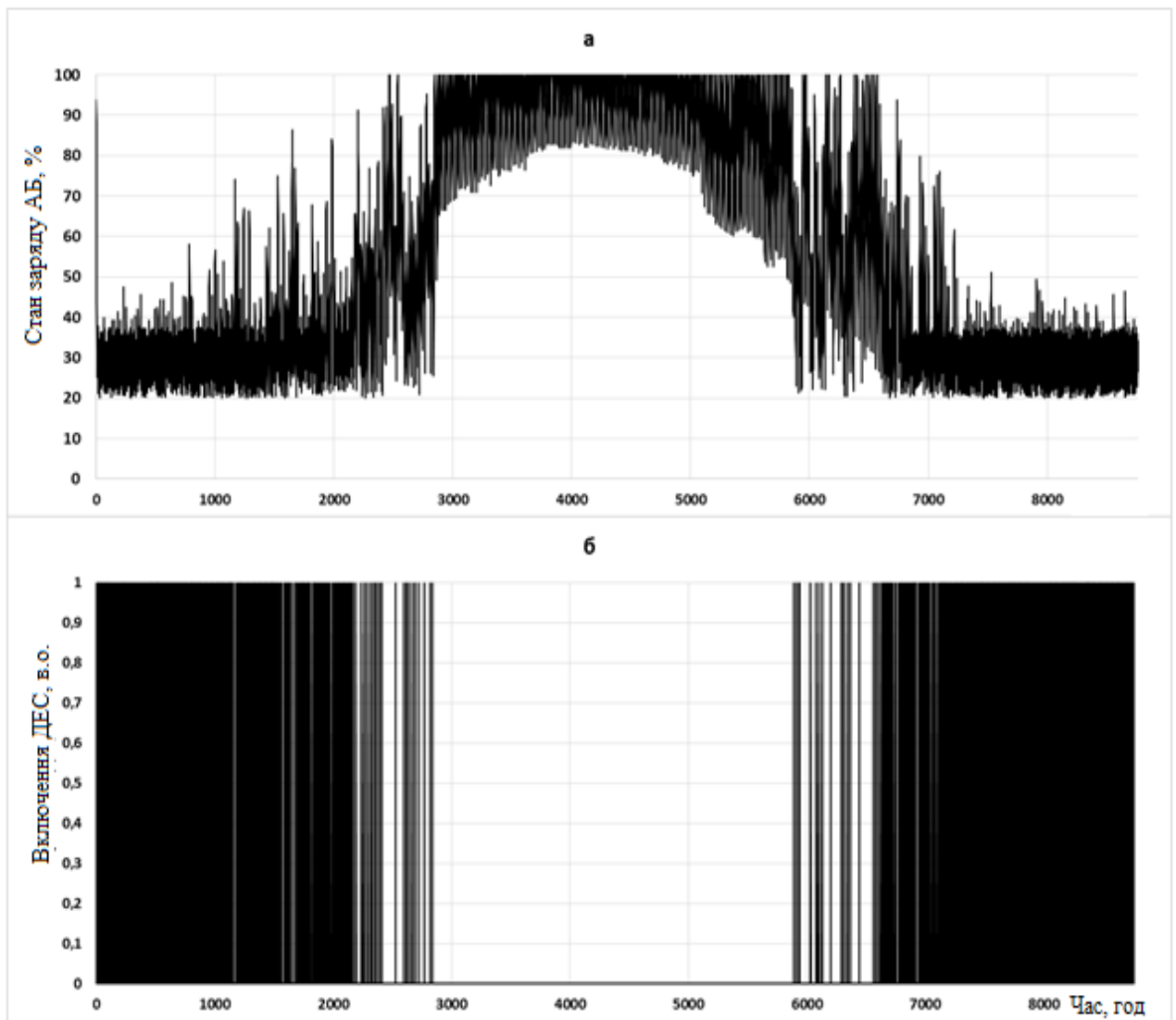


Рисунок 3.2 - Включення ДЕС (логічні 0 і 1) протягом року (а) і зміна заряду АБ (б)

Вихідна потужність ВЕУ дорівнює максимальній потужності:

$$P_{BEV} = \begin{cases} P_{BEV}^{\max}; P_{БПС} \geq 0 \\ P_{BEV}^{\max} + P_{БПС}; (P_{БПС} < 0) \wedge ((P_{BEV}^{\max} + P_{БПС}) \geq 0), \\ 0; (P_{БПС} < 0) \wedge ((P_{BEV}^{\max} + P_{БПС}) < 0) \end{cases} \quad (3.12)$$

$$P_{ФЕП} = \begin{cases} P_{ФЕП}^{\max}; (H_{ФЕП} > 0) \\ (-P_{БПС} - P_{ФЕП}^{\max}); (P_{ФЕП}^{\max} = 0) \end{cases} \quad (3.13)$$

Сумарна виробіток елементів генерації визначається виходячи з таких виразів

$$W_{BEV} = \sum_{t=1}^{T_{пик}} P_{BEV}^t \Delta t, \quad (3.14)$$

$$W_{ФЕП} = \sum_{t=1}^{T_{пик}} P_{ФЕП}^t \Delta t, \quad (3.15)$$

$$W_{ДЕС} = \sum_{t=1}^{T_{пик}} P_{ДЕС}^t \Delta t. \quad (3.16)$$

де t - часовий інтервал.

Сумарне споживання дизельного палива визначається наступним чином:

$$B_{ДЕС} = \sum_{t=1}^{T_{пик}} \varphi_{ДЕС} (P_{ДЕС}^t) \Delta t, \quad (3.17)$$

де $\varphi_{ДЕС}$ - енергетична характеристика ДЕС, що зв'язує потужність з розходом дизельного палива.

Сумарна річна енергія, яка надходить на заряд АБ визначається як:

$$W_{зар}^{AB} = \sum_{t=1}^{T_{пик}} P_{\Sigma}^{+t} \Delta t. \quad (3.18)$$

Беручи ймовірність реалізації поєднання метеоумов кожного року спостережень однаковою можна визначити середньорічну вироблення електроенергії на генераторах, що використовують ВДЕ і ДГУ, середньорічний витрата палива, показники економічної ефективності при заданому складі генеруючих потужностей.

Визначення середньорічної вироблення електроенергії ВЕУ, ФЕП і ДЕС виконується за такими виразами:

$$W_{BEU}^{cp} = \frac{W_{BEU}^1 + W_{BEU}^2 + \dots + W_{BEU}^n}{n}, \quad (3.19)$$

$$W_{ФЕП}^{cp} = \frac{W_{ФЕП}^1 + W_{ФЕП}^2 + \dots + W_{ФЕП}^n}{n}, \quad (3.20)$$

$$W_{ДЕС}^{cp} = \frac{W_{ДЕС}^1 + W_{ДЕС}^2 + \dots + W_{ДЕС}^n}{n}, \quad (3.21)$$

де n - кількість років в періоді метеоспостережень відповідної автоматичної метеостанції, надрядкові індекси $1, \dots, n$ - вказують на вироблення, що відноситься до відповідного року метеоспостережень.

Середньорічне споживання дизельного палива визначається як:

$$B_{\partial n}^{cp} = \frac{B_{\partial n}^1 + B_{\partial n}^2 + \dots + B_{\partial n}^n}{n}. \quad (3.22)$$

Суттєвою особливістю використовуваних в даний час АБ є необхідність їх заміни після досягнення деякого граничного числа циклів заряд-розряд. Це число різне для різних типів АБ, причому за розрахунковий період роботи АСЕП проходить, як правило, кілька замін АБ, що істотно впливає на економічну ефективність АСЕП.

Середньорічна кількість умовних циклів АБ визначається наступним чином:

$$K_{AB}^{cp} = \frac{W_{зар}^{ab}}{W_{AB}^{max} n_{AB}}, \quad (3.23)$$

де W_{AB}^{max} - максимальний заряд АБ за один цикл від 20 до 100% одної АБ;

n_{AB} - кількість АБ.

Середньорічний заряд АБ визначається за такою формулою

$$W_{зар}^{AB} = \frac{W_{зар}^{ab_1} + W_{зар}^{ab_2} + \dots + W_{зар}^{ab_n}}{n}. \quad (3.24)$$

Кількість років до заміни АБ знаходиться з виразу

$$T_{зам.АБ}^{рік} = \frac{n_{цикл}^{80\%}}{K_{AB}^{cp}}, \quad (3.25)$$

де $n_{цикл}^{80\%}$ - гранична (до заміни) кількість циклів заряд / розряд АБ в буферному режимі експлуатації з 80% розрядом АБ.

Число замін АБ за розрахунковий період визначається наступним чином

$$N_{зам.АБ} = \frac{T_{р.пер}}{T_{зам.АБ}^{рік}}, \quad (3.26)$$

де $T_{р.пер}$ - число років розрахункового періоду.

Слід зазначити, що не завжди число замін АБ за розрахунковий період виявляється цілим. В такому випадку залишкове число років роботи АБ після останньої заміни визначається наступним чином

$$T^{зал} = T_{p.пер} - N_{зам}^{цїл} T_{зам.АБ}^{рїк}, \quad (3.27)$$

де $N_{зам}^{цїл}$ - найближче менше ціле число до числа $N_{зам.АБ}$.

Для приведення варіантів обладнання АСЕП до рівної економічної ефективності доцільно врахувати залишкову вартість АБ на кінець розрахункового періоду.

При цьому сумарні експлуатаційні витрати на заміну АБ з урахуванням дисконтування мають такий вигляд

$$B_{зам.АБ}^e = S_1^{зам} \left[\frac{1}{(1+k)^{(T_{зам.АБ}^{рїк}-1)}} + \frac{1}{(1+k)^{(2T_{зам.АБ}^{рїк}-1)}} + \dots + \frac{1}{(1+k)^{(N_{зам.АБ}^{рїк}-1)}} - \left[\frac{1}{(1+k)^{T_{p.пер}}} \right] \frac{T_{зам.АБ}^{рїк} - T^{зал}}{T_{зам.АБ}^{рїк}} \right], \quad (3.28)$$

де $S_1^{зам}$ - вартість установлених в АСЕП АБ;

k - коефіцієнт дисконтування.

Слід зазначити, що вибір числа АБ повинен проводитися з урахуванням таких вимог.

- АБ повинні забезпечити прийом максимальної потужності, що надходить від ВДЕ, за вирахуванням потужності, яка йде споживачеві.
- При відключенні генеруючих потужностей АБ повинні забезпечити максимальну потужність споживачів за рахунок своєї потужності розряду.

Для дотримання першої вимоги повинно виконуватися така умова

$$P_{ФЕП}^{уст} + P_{ВЕУ}^{уст} - \Sigma \Delta P - P_n^{\min} \leq P_{АБ}^{зар} n_{АБ}, \quad (3.29)$$

де $P_{ФЕП}^{уст}$, $P_{ВЕУ}^{уст}$ - установлена потужність ФЕП та ВЕУ;

P_n^{\min} - мінімальне навантаження споживача;

$P_{AB}^{зар}$ - максимальна одинична потужність заряду АБ.

Для дотримання другої вимоги повинно виконуватися така умова.

$$P_{AB}^{роз} n_{AB} \geq P_n^{\max}, \quad (3.30)$$

де $P_{AB}^{роз}$ - максимальна одинична потужність розряду АБ;

P_n^{\max} - максимальне навантаження споживачів.

Робота елементів АСЕП залежить від заряду АБ в початковий момент часу. При розподілі навантажень приймається, що в момент часу $t=0$ заряд АБ дорівнює максимальному значенню для всіх варіантів.

3.2 Визначення оптимального складу обладнання АСЕП

Для порівняння варіантів застосовується методика врівноваженою вартості електроенергії (Levelized cost of electricity; LCOE) - К. Branker [99], С. Kost [100]. LCOE - це приведені витрати на одиницю електроенергії, що відпускається споживачу. LCOE широко застосовується в зарубіжних роботах як критерій економічної ефективності - Arnau Gonzales [35], Rodolfo Dufo-López [71], Ghada Merei [73], Akbar Maleki [91], Kapil Narula [103], David Tsuanyo [104] та інші .

Цільова функція має вигляд:

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{K_i + P_i + B_i + B_{зам.АБ}^e}{(1+k)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{W_i}{(1+k)^i}}, \quad (3.31)$$

де K_i - капіталовкладення;

P_i - умовно постійні експлуатаційні витрати;

B_i - паливні витрати;

W_i - надходження електроенергії споживачам;

k - коефіцієнт дисконтування;

n - число років розрахункового періоду, що відносять до i -го року розрахункового періоду;

$B_{зам.АБ}^e$ - сумарні експлуатаційні витрати на заміну АБ з урахуванням дисконтування.

Капіталовкладення за елементами АСЕП за i -ий рік визначаються як

$$K_i = K_{ФЕПi} + K_{ВЕУi} + K_{ДЕСi} + K_{АБi} + K_{сіні}^{\Phi} + K_{тпi}^{\Phi} + K_{пi}^{\Phi} + K_{тпi}^B + K_{пi}^B + K_{тпi}^O + K_{вi}^{АБ} + K_{iі}^{АБ}, \quad (3.32)$$

де $K_{ФЕПi}, K_{ВЕУi}, K_{ДЕСi}, K_{АБi}, K_{сіні}, K_{тпi}, K_{пi}, K_{вi}, K_{iі}$ - відповідно капіталовкладення в фотоелектричні перетворювачі, вітроенергетичні установки, дизель-генератори, акумуляторні батареї, силові інвертори, трансформатор, повітряні лінії, випрямлячі, інвертори. Індексом «Ф» і «В» позначаються показники мережевих елементів, що відносяться до електричним зв'язкам ФЕП з АБ і ВЕУ з АБ відповідно. Індексом «О» позначені показники загальних мережевих елементів, встановлених у споживача, а «АБ» показники мережевих елементів, що відносяться до АБ відповідно.

Експлуатаційні витрати за елементами АСЕП визначаються як.

$$B_i = B_{ФЕПi} + B_{ВЕУi} + B_{ДЕСi} + B_{АБi} + B_{сіні}^{\Phi} + B_{тпi}^{\Phi} + B_{пi}^{\Phi} + B_{тпi}^B + B_{пi}^B + B_{тпi}^O + B_{вi}^{АБ} + B_{iі}^{АБ}, \quad (3.33)$$

де $B_{ФЕПi}, B_{ВЕУi}, B_{ДЕСi}, B_{АБi}, B_{сіні}, B_{вi}, B_{iі}$ - відповідно експлуатаційні витрати в фотоелектричні перетворювачі, вітроенергетичні установки, дизель-генератори, акумуляторні батареї, силові інвертори, трансформатори,

повітряні лінії, випрямлячі, інвертори. Прийнято, що ці витрати складають певні частки від капіталовкладень.

Для оптимізації варіантів використано розрахунковий комплекс, який використовує метод покоординатного спуску, відповідно до якого всі оптимізовані параметри, крім одного, фіксуються, а один оптимізується. Потім оптимізується другий параметр, а перший фіксується на раніше знайденому оптимальному значенні. Такий процес повторюється поки жоден з параметрів не може бути поліпшений. Стосовно до розглянутих АСЕП процес покоординатного спуску включає наступні етапи.

I. Оптимізується встановлена потужність ФЕП при фіксованій встановленій потужності ВЕУ та фіксованого встановленої ємності АБ.

II. Оптимізується встановлена потужність ВЕУ при раніше знайденому оптимальному значенні встановленої потужності ФЕП та фіксованої встановленої ємності АБ.

III. Оптимізується встановлена ємність АБ при раніше знайдених оптимальних значеннях встановлених потужностей ФЕП і ВЕУ відповідно.

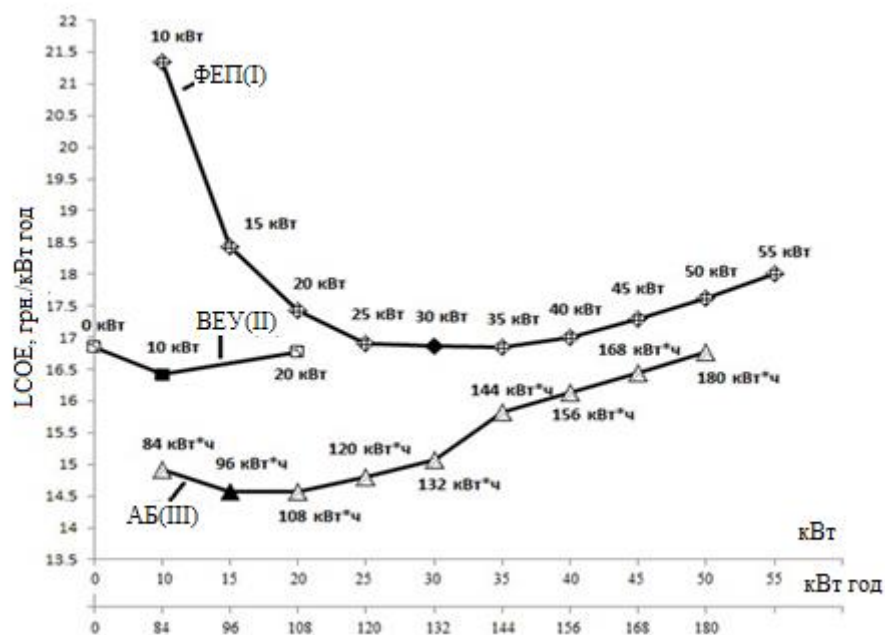


Рисунок 3.3 - Поведінка цільової функції на одній ітерації методу покоординатного спуску

Вибір кроків при покоординатному спуску проводиться з урахуванням одиничної потужності ВЕУ, потужності одиничної серії ФЕП і ємності одиничного блоку АБ. На рис. 3.3 показаний приклад зміни цільової функції при одній ітерації покоординатного спуску, що включає три кроки (по потужності ФЕП, ВЕУ і ємності АБ).

3.3 Висновки до розділу

Проведено математичне моделювання розподілу навантажень та вирішено завдання розподілу навантажень між електрогенеруючими установками АСЕП.

Проведено аналіз збіжності методу покоординатного спуску до оптимального рішення. В околі оптимального рішення проведено додатковий аналіз, заснований на переборі всіх найближчий до оптимального рішення варіантів обладнання, що дозволили підвищити точність даного методу.

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Комплексної оптимізації АСЕП на базі поновлюваних джерел енергії та акумуляторних батарей

В цілому завдання комплексної оптимізації АСЕП на базі ВДЕ і АБ може бути сформульована таким чином.

В якості незалежних оптимізуючих параметрів приймаються: встановлені потужності ВЕУ (або число ВЕУ заданого типорозміру); встановлені потужності ФЕП (або число модулів ФЕП із заданою площею); сумарна ємність АБ (або число блоків АБ, при заданому типі АБ об'єктів та їх переліку в блоці). Встановлена потужність ДЕС приймається з вимоги щоб при виході з ладу однієї ДГУ інші забезпечували максимальне електроспоживання. Ця умова продиктована вимогою надійного електропостачання, і при заданому типі ДГУ дозволяє однозначно вибрати число агрегатів ДЕС. Вибір всіх мережевих елементів (ТР, провідників ВЛ, СИН, БІН) проводиться виходячи із заданої встановленої потужності ВЕУ, максимальної, з урахуванням географічних координат АСЕП потужності ФЕП, сумарною ємності АБ.

Вибір обладнання АСЕП дозволяє визначити капіталовкладення в систему.

Розрахунок режимів роботи, визначення споживання дизельного палива і числа замін АБ проводиться для рядів метеопараметрів, відповідних кожному році метеоспостережень. Для всіх років приймається рівна ймовірність реалізації (якщо є інформація, про те, що роки з різним сумарним вітропотенціалом мають різну ймовірність реалізації, розрахунки середньорічних показників (або їх математичних очікувань) можуть проводитися з урахуванням цих ймовірностей. У початковий момент часу заряд АБ приймається рівним максимальній ємності АБ. Якщо в кінці року заряд АБ буде нижче максимальної місткості, то враховується додатковий

витрата палива на ДЕС необхідний для вироблення електроенергії, яка була «безкоштовно» внесена в систему (різниця заряду АБ на початку року і в його кінці).

Для режимів роботи АСЕП в кожному році метеоспостережень визначається сумарний обсяг електроенергії, що йде протягом року на заряд АБ. Потім визначаються кількість заміन АБ, тривалість роботи АБ до їх повної заміни. Якщо число замін, певне зазначеним способом, виявляється не цілим, то враховується залишкова вартість АБ в кінці розрахункового періоду. Вона приймається рівною вартості нових АБ, помноженої на коефіцієнт дисконтування, відповідний часу закінчення розрахункового періоду і на відношення залишкового числа повних циклів заряд-розряд до повного числа таких циклів до вичерпання ресурсу нових АБ.

Залишкова вартість АБ досить мала через невелику величини коефіцієнта дисконтування в кінці розрахункового періоду, але без її обліку цільова функція задачі оптимізації стає розривної, що порушує збіжність оптимізаційного процесу.

Після розрахунків річних режимів роботи для всіх років метеоспостережень визначаються середньорічні показники (витрата палива, число замін АБ), і знаходиться критерій економічної ефективності.

Завдання оптимізації полягає в знаходженні такого поєднання незалежних оптимізаційних параметрів, при якому критерій ефективності досягає мінімального значення.

Математична постановка задачі оптимізації АСЕП

Завдання оптимізації формулюється в такий спосіб:

$$\min LCOE(K, B_{yn}, B_{Tg}^{cp}, B_{зам.АБ}^e, P_{уст}^{ФЕП}, P_{уст}^{BEY}, W_{уст}^{АБ}), \quad (4.1)$$

де K - сумарні капіталовкладення в елементи АСЕП;

B_{yn} - умовно постійні витрати (від функції капіталовкладень);

$B_{Tв}^{cp}$ - середньорічні паливні витрати;

$B_{зам.АБ}^e$ - сумарні експлуатаційні витрати на заміну АБ з урахуванням дисконтування.

При умовах:

$$x_{мер}^y = f_{мер} \left(P_{уст}^{ФЕП}, P_{уст}^{BEУ}, W_{уст}^{АБ}, y_{мер}^L \right), \quad (4.2)$$

де $x_{мер}^y$ - встановлені параметри мережевого обладнання;

$f_{мер}$ - логічний числовий оператор (система логічних умов і функціональних залежностей), що дозволяє за заданими встановленим потужностям ФЕП і БЕУ, встановленої ємності АБ і типом мережевого обладнання, визначити встановлені параметри цього обладнання;

$y_{мер}^L$ - вектор типорозмірів мережевого обладнання;

$$P_{уст}^{ДЕС} = f_{диз} \left(P_{нав}^{max}, P_{уст}^{ДГУ} \right), \quad (4.3)$$

де $f_{диз}$ - логічно-числовий оператор дозволяє визначити сумарну встановлену потужність ДЕС, по заданій максимальному навантаженні споживача

$(P_{нав}^{max})$ і встановленої потужності ДГУ $(P_{уст}^{ДГУ})$;

$$K = F_K \left(P_{уст}^{ФЕП}, P_{уст}^{BEУ}, W_{уст}^{АБ}, P_{уст}^{ДЕС}, x_{мер}^y, S^{заг} \right), \quad (4.4)$$

де F_K - функція, що визначає залежність капіталовкладень від встановлених потужностей елементів АСЕП:

$$\begin{pmatrix} P_{ДЕСi}^t \\ P_{ФЕПi}^t \\ P_{ВЕVi}^t \\ W_{АБзар-i}^t \\ W_{АБроз-i}^t \\ W_{АБи}^t \\ \Delta P_i^t \\ x_{мерi}^{yt} \\ B_i^t \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} P_{уст}^{\Phi EP} \\ P_{уст}^{ДЕС} \\ P_{уст}^{ДЕС} \\ W_{уст}^{АБ} \\ x_{мер}^y \\ Q_{кли}^t \\ W_{АБи}^{t-1} \end{pmatrix}, \quad (4.5)$$

$$t = 1, \dots, T^{пik}; i = 1, \dots, N^{мет},$$

де A - логічно-числовий оператор, який визначає поточні параметри режиму елементів АСЕП в момент t ;

$Q_{кли}^t$ - матриця параметрів оточуючого середовища.

Споживання дизельного палива i -го року:

$$B_i^{пik} = \sum_{t=1}^{T^{пik}} B_i^t + (W_{АБ}^0 - W_{АБ}^{T^{пik}}), \quad (4.6)$$

де $W_{АБ}^0$ - заряд АБ на початку розрахункового періоду;

$W_{АБ}^{T^{пik}}$ - заряд АБ в кінці розрахункового періоду.

Енергія заряду АБ i -го року

$$W_{АБзар-i}^{пik} = \sum_{t=1}^{T^{пik}} W_{АБзар-i}^t, \quad (4.7)$$

де $W_{АБзар-i}^t$ - енергія заряду АБ i -го року.

Середньорічне споживання палива:

$$B^{cp} = \frac{1}{N^{мет}} \sum_{t=1}^{N^{мет}} B_i^{рік}, \quad (4.8)$$

де $N^{мет}$ - число років метеоспостережень.

Середньорічна енергія заряду АБ:

$$W_{АБзар-i}^{cp} = \frac{1}{N^{мет}} \sum_{t=1}^{N^{мет}} W_{АБзар-i}^{рік}. \quad (4.9)$$

Середньорічні поливні витрати:

$$B_{\partial n}^{cp} = B^{cp} S^T, \quad (4.10)$$

де S^T - вартість палива.

Вартість заміни АБ з врахуванням дисконтування:

$$B_{зам.АБ}^e = F_{зам} \left(W_{АБзар-i}^{cp}, n_{АБ}, W_{АБ}^{80\%}, n_{цикл}^{80\%}, S^{АБ} \right). \quad (4.11)$$

Методика комплексної оптимізації АСЕП, що використовує ВДЕ і АБ була розроблена автором спільно з науковим керівником - Карамов Д.Н. [23,24,25,26], Клер А.М. [27].

4.2 Врахування надійності при вирішенні завдання комплексної оптимізації

Для обліку надійності електропостачання при оптимізації АСЕП в роботі використовується підхід, близький до підходу, розглянутому в [19] - Клер А.М., Тюріна Е.А, та ін. Застосованого для оптимізації газотурбінних

електростанцій власних потреб енергокомплексів нафтогазовидобувних підприємств.

Суть даного підходу полягає в тому, що імітується робота АСЕП протягом розрахункового періоду (20 років експлуатації, 175200 годин). Весь цей період розбивається на однакові малі інтервали часу. Причому протягом кожного інтервалу часу вважаються незмінними: значення метеопараметрів (хмарність, швидкість вітру, тиск, температура повітря), значення середнього за інтервал кута піднесення Сонця над горизонтом, навантаження споживачів, склад працездатного обладнання АСЕП (генераторів, елементів перетворення і передачі електроенергії, а також елементів силової електроніки), навантаження генеруючого і мережевого устаткування, енергія заряду або розряду АБ. Доцільно величину малого інтервалу (або малого кроку за часом) прийнято рівною одній годині. Графіки електричних навантажень споживачів, як правило, розбиваються на тимчасові інтервали з постійною годинний навантаженням в рамках розглянутого проміжку часу. Також в рамках кожного розглянутого години розраховуються основні астрономічні параметри Сонця, які дозволяють при їх фіксованих значеннях досить точно визначити обсяг енергії, що надходить з урахуванням хмарності на розглянутій території за годину. Вважається, що кожен елемент АСЕП може знаходитися в наступних станах: робота, простій в холодному резерві, простій на планові технічні обслуговування (ТО) або ремонти, простій на післяаварійні відновлювальні ремонти, вимушений простій через зупинки інших елементів. Елемент вважається працездатним, якщо він знаходиться в роботі або холодному резерві.

Для кожного i -го елемента АСЕП вводяться лічильники часу роботи. Значення k -го лічильника дорівнює сумарній кількості годин напрацювання i -го елемента з моменту закінчення k -го ТО або ремонту, до закінчення t -го часового інтервалу. Крім того, для кожного елемента АСЕП вводиться ознака

працездатності R_t^i . Якщо $R_t^i = 1$ - елемент працездатний на t -му часовому інтервалі, якщо $R_t^i = 0$ - елемент не працездатний.

Для кожного виду ТО (поточного, планового, капітального) i -го елемента АСЕП задаються: гранична напрацювання (з моменту закінчення попереднього аналогічного ТО або ремонту) ΔT_{ik}^H , після досягнення якої i елемент виводиться на відповідне k -е ТО або ремонт, де k - порядковий номер ТО або ремонту i -го елемента (ТО і ремонти впорядковані так, що зі зростанням k збільшується ΔT_{ik}^H); тривалість ТО або ремонту ΔT_{ik}^R ; витрати на ТО або ремонт M_{ik}^R .

Для кожного елемента АСЕП і для кожного часового інтервалу задається параметр потоку відмов ζ_{it} , рівний ймовірності аварійного виходу з ладу i -го елемента АСЕП на t -му часовому інтервалі. Як правило, ζ_{it} що відносяться до одного року розрахункового періоду приймаються однаковими. Крім того, задається середній час відновлювального ремонту i -го елемента ΔT_{ik}^{rep} середні витрати на ремонт M_{ik}^{rep} .

Для кожного i -го елемента АСЕП задаються безліч інших елементів системи, які будуть знаходитися в вимушеному простої, при зупинці i -го елемента. Така множина J_i^{for} включає номери тих елементів, які не можуть працювати при виведенні з роботи i -го елемента.

Для обліку випадкового характеру метеоумов, параметри навколишнього середовища кожного року розрахункового періоду приймаються рівними відповідним параметрам певного періоду метеоспостережень. Причому вибір цього року з усього списку років метеоспостережень здійснюється з використанням датчика випадкових чисел, з урахуванням ймовірності реалізації кожного року із зазначеного списку.

Моделювання роботи АСЕП проводиться таким чином. Перед початком першого кроку по часу (тобто першої години розрахункового

періоду) значення лічильників всіх елементів АСЕП C_0^{ir} задаються рівними нулю. Ознаки працездатності всіх елементів АСЕП для всіх тимчасових інтервалів задаються рівними 1 ($R_t^i = 1, i = 1 \dots N, t = 1 \dots T$, де N^e - число елементів АСЕП, T - число малих кроків по часові в розрахунковому періоді). Заряд АБ на початку розрахункового періоду приймається рівним його максимально-можливого значення ($Q_{ABt0} = Q_{AB}^{\max}$).

Як зазначалося раніше, кожному році розрахункового періоду стає у відповідність один рік з періоду метеоспостережень, обраний випадковим чином. Для t -ого тимчасового інтервалу розрахункового періоду визначаються рік, місяць, число і годину, до яких відносяться даний інтервал. Як параметри навколишнього середовища на t -ом інтервалі приймаються параметри того ж місяця, числа і години відповідного року періоду метеоспостережень.

Для кожного t -ого тимчасового інтервалу виконуються наступні кроки.

1. Визначаються навантаження споживачів на t -ом інтервалі і значення параметрів навколишнього середовища на цьому ж часовому інтервалі. Вирішується розглянута раніше завдання розподілу навантаження між генеруючим обладнанням АСЕП з урахуванням складу працездатних елементів. В результаті визначається витрата дизельного палива ДЕС і недовідпуск електроенергії споживачам (якщо він має місце), а також елементи АСЕП. В якості ознак працездатності елементів АСЕП приймаємо раніше описані умови ($R_t^i = 1$ - елемент працездатний на t -му часовому інтервалі, якщо $R_t^i = 0$ - елемент не працездатний).

2. Значення лічильників роботи елементів АСЕП, для яких $R_t^i = 1$ збільшується на 1, а всіх інших залишаються незмінними, тобто

$$C_t^{ik} = \begin{cases} C_{t-1}^{ik} + 1; R_t^i = 1 \\ C_{t-1}^{ik}; R_t^i = 0 \end{cases} \quad (4.12)$$

$$K = 1 \dots K_i^{TO}, i = 1 \dots N^e,$$

де K_i^{TO} - число видів ТО і планових ремонтів i -го елемента;

N^e - число елементів АСЕП.

3. Для кожного елемента, що працює на t інтервалі імітуються аварійні відмови. Для цього за допомогою датчика випадкових чисел з рівномірним законом розподілу в діапазоні від 0 до 1 генеруються випадкові числа. Якщо отримане речове число X_{it}^P лежить в діапазоні від 0 до ζ_{it} , то елемент (наприкінці t тимчасового інтервалу переходить в стан аварійної відмови). На наступному $t+1$ інтервалі, елемент (який перебував в аварійному режимі) буде знаходитися в стані післяаварійного ремонту. У такому стані він буде знаходитися на $t+1, t+2, \dots, t + \Delta T_{ik}^{rep}$ інтервалах.

Якщо в кінці t -го інтервалу i -ий елемент переходить в аварійний стан, то на інтервалах $t+1, t+2, \dots, t + \Delta T_{ik}^{rep}$ вважаються працездатними елементи номера яких входять в множину J_{ik}^{for} .

4. Визначення умов виведення елементів в планові ТО і ремонти. Для цього перевіряються умови

$$C_t^{ik} = \Delta T_{ik}^H. \quad (4.13)$$

Якщо такі умови виконуються, то починаючи з $t+1$ тимчасового інтервалу i -ий елемент виводиться на планове k -е ТО або ремонт. Для i -го елемента приймаються $C_{t+1}^{ik} = 0, R_{t+1}^i = 0, R_{t+2}^i = 0; \dots; R_{t+\Delta T_{ik}^H}^i = 0$. Якщо умови виконуються для i -го елемента при одному t для різних k , то вважається що виконується більш значуще ТО або ремонт (поточний \rightarrow плановий \rightarrow

капітальний) з великим k , великим терміном обслуговування і витратами відповідно.

При цьому C_{t+1}^{ik} вважається рівним нулю, для k -го ТО і всіх менш значущих ТО або ремонтів з меншими значеннями k .

Якщо в кінці t -го інтервалу i -ий елемент виводиться в заплановане ТО або ремонт, то протягом цього ТО або ремонту вважаються працездатними елементи, номери яких входять в множину J_{ik}^{for} . Індекс працездатності даних елементів протягом запланованого ТО або ремонту i -го елемента задаються рівними нулю.

5. Якщо $t=T$, то розрахунок роботи АСЕП закінчується. В іншому випадку t збільшується на 1 і здійснюється повернення на пункт 1 і процес повторюється.

За результатами розрахунків визначаються витрати кожного року експлуатації (з урахуванням ТО, ремонтів та аварійних ситуацій) і річний недовідпуск електроенергії (якщо такий є).

Оскільки результати розрахунків залежать від випадкових параметрів, що визначають вибір метеоумов і аварійне відключення елементів, потрібно визначити математичне очікування витрат і недовідпуск електроенергії. Для цього необхідно виконати серію розрахунків роботи АСЕП протягом розрахункового періоду і на основі цього визначити математичні очікування зазначених величин.

4.3 Опис правил роботи об'єктів генерації, що використовують поновлювані джерела енергії і акумуляторні батареї з урахуванням надійності

На відміну від уже поданої методики комплексної оптимізації, облік надійності (описаних в пунктах 1 - 5) вимагає поділу об'єктів генерації на

відповідні енергоблоки, серії, кластери і т.д. Нижче наведемо опис принципів управління окремими енергоблоками при вирішенні задачі надійності.

Дизель-генератори

В рамках розробленої методики мається на увазі використання двох і більше дизель-генераторів, що працюють в паралельному режимі. При цьому необхідно забезпечити рівномірний використання технічного ресурсу ДГУ протягом усього циклу експлуатації.

Для цього з початку розрахункового періоду і аж до капітального ремонту провідним ДГУ вважається ДГУ1. При включенні ДЕС саме цей агрегат включається першим. Після виведення ДГУ1 в капітальний ремонт провідним вважається ДГУ2 і залишається таким аж до свого виведення в капітальний ремонт. Такий процес повторюється до кінця розрахункового періоду.

Фотоелектричні перетворювачі і вітроенергетичні установки

Всі елементи ФЕП об'єднуються в серії, причому вихід з ладу будь-якого елемента, призводить до зупинки всієї серії. Як правило, відновлювальний ремонт полягає в заміні елемента, що відмовив.

Слід зазначити, що на відміну від ФЕП, кожна ВЕУ з точки зору надійності розглядається окремо.

Логічні умови, що дозволяють врахувати зміну стану елементів АСЕП мають такий вигляд.

1. У початковий момент $t=1$ ознаки працездатності ФЕП і ВЕУ встановлюються рівними 1. Напрацювання даних елементів визначається виходячи з таких логічних умов

$$C_t^{\text{ФЕП}k} = \begin{cases} C_{t+1}^{\text{ФЕП}k}; P_{\text{ФЕП}k} > 0 \\ C_t^{\text{ФЕП}k}; P_{\text{ФЕП}k} = 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

$$P_{\text{ФЕП}} = P_{\text{ФЕП}1} + P_{\text{ФЕП}2} + \dots + P_{\text{ФЕП}n}, \quad (4.15)$$

де $P_{ФЕП}$ - сумарна генеруюча потужність ФЕП;

k - номер блока ФЕП.

$$C_t^{BEV_k} = \begin{cases} C_{t+1}^{BEV_k}; P_{BEV_k} > 0 \\ C_t^{BEV_k}; P_{BEV_k} = 0 \end{cases} \quad (4.16)$$

$$P_{BEV} = P_{BEV1} + P_{BEV2} + \dots + P_{BEVn}, \quad (4.17)$$

де P_{BEV} - сумарна генеруюча потужність ВЕУ;

k - номер блока ВЕУ.

2. Якщо параметр потоку відмов змінюється зі зміною числа годин загальної напрацювання установки, то він визначається з наступного виразу.

$$\zeta_{BEVt} = \begin{cases} \zeta_{BEV1}; 1 \leq C_t^{BEV} \leq y_1 \\ \zeta_{BEV2}; y_1 \leq C_t^{BEV} \leq y_2 \\ \zeta_{BEV3}; y_2 \leq C_t^{BEV} \leq y_3, \\ \dots \\ \zeta_{BEVn}; y_n \leq C_t^{BEV} \leq y_m \end{cases} \quad (4.18)$$

де y_1, y_2, y_3, y_n - значення напрацювання ВЕУ, при досягненні яких відбувається зміна параметра потоку відмов.

3. Висновок ФЕП і ВЕУ в заплановані ТО і ремонти виконується при досягненні їх напрацюваннями відповідних граничних значень.

Елементи трансформації, передачі, розподілу та силової електроніки У розрахункову модель з урахуванням надійності вносяться оптимальні значення встановлених потужностей мережевих елементів. Варто відзначити, що елементи силової електроніки (СІН та БІН), встановлюються кластерами (рис. 2.10). Отже, при відмові одного з елементів відключається весь аварійний кластер, скорочуючи пропускну здатність. Напрацювання СІН має такий вигляд

$$C_t^{sink} = \begin{cases} C_{t+1}^{sink}; P_{\Phi EПk} > 0 \\ C_t^{sink}; P_{\Phi EПk} = 0 \end{cases}. \quad (4.19)$$

Напрацювання БН, залежить від знакозмінної функції потужності системи P_{Σ} (2.18), яка дозволяє визначити фактичні режими роботи БН (випрямний / побутовий). Напрацювання БН виглядає наступним чином

$$C_t^{bin} = \begin{cases} C_{t+1}^{bin}; (P_{\Sigma} > 0) \wedge (P_{\Sigma} < 0) \\ C_t^{bin}; P_{\Sigma} = 0 \end{cases}. \quad (4.20)$$

Варто відзначити, що при відмові ПЛ, що з'єднує ФЕП (аналогічно і ВЕУ) з загальним знижувальним трансформатором АСЕП, весь ланцюжок елементів знеструмлюється. Тому, номери відключених елементів J_i^{for} утворюють безліч елементів відключених при відмові ПЛ. У разі відмови головного понижувального трансформатора системи, відключиться як ланцюг ВЕУ, так і ФЕП відповідно. Напрацювання головного понижувального трансформатора має такий вигляд.

Виходячи з умови (4.14, 4.16) визначається вид запланованого ТО або ремонту всіх представлених елементів АСЕП.

$$C_t^{mp-zak} = \begin{cases} C_{t+1}^{mp-zak}; (P_{\Phi EП} > 0) \wedge (P_{BEV} > 0) \\ C_t^{mp-zak}; (P_{\Phi EП} = 0) \wedge (P_{BEV} = 0) \end{cases}. \quad (4.21)$$

4.4 Висновки до розділу

Запропоновано метод, на основі якого можна оцінити надійність роботи АСЕП. Суть даного підходу полягає в тому, що імітується робота АСЕП протягом розрахункового періоду (наприклад 20 років експлуатації, 175200 годин).

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Програмно-обчислювальний комплекс оптимізації АСЕП

В рамках даної роботи розроблено програмно-обчислювальний комплекс (ПОК), який реалізує вищеписану методику комплексної оптимізації АСЕП. На рис. 5.1 показана блок-схема, на словах описує основні етапи розрахунку АСЕП при певному складі генеруючого обладнання.

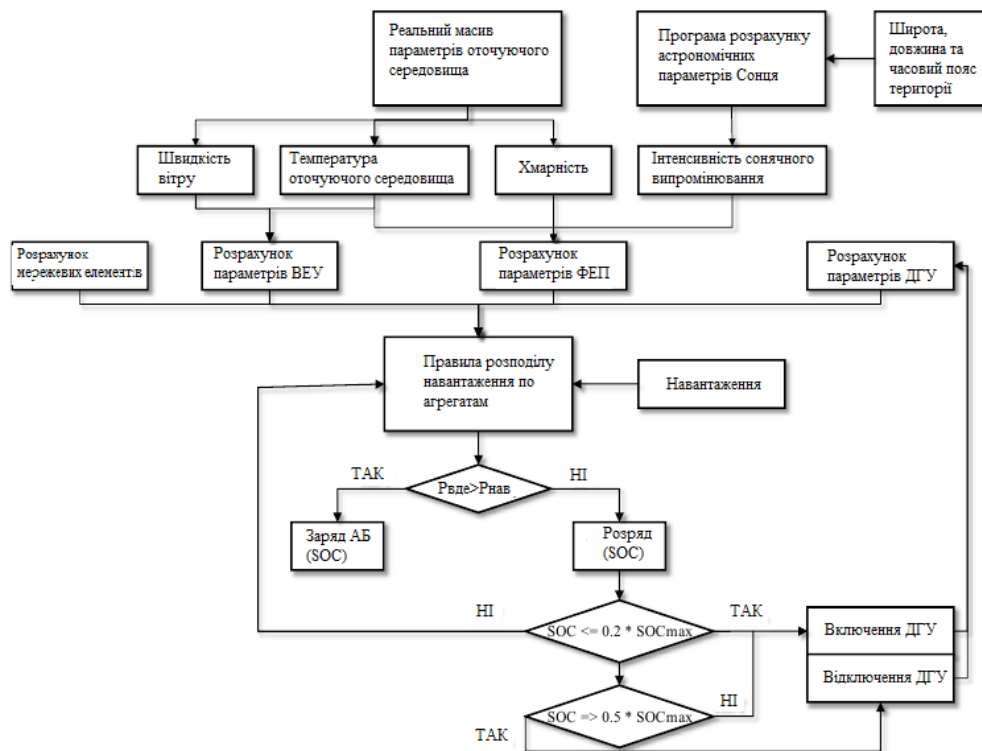


Рисунок 2.14 - Блок-схема, що описує основні етапи розрахунку АСЕП

При оптимізації складу генеруючого обладнання використовується метод поординатного спуску. На рис. 5.2 показаний алгоритм оптимізації, який представляє ітераційний замкнутий процес - Карамов Д.Н. [23].

ПОК включає наступні підсистеми: ВЕУ, ФЕП, ДГУ, ТР-Р, ВЛ, АБ, навантаження, системи управління, введення початкових даних і т.д. Для введення значень заводських параметрів, вартості, щорічних витрат, обліку

існуючого складу обладнання в рамках ПОК викристано відповідна підсистема.

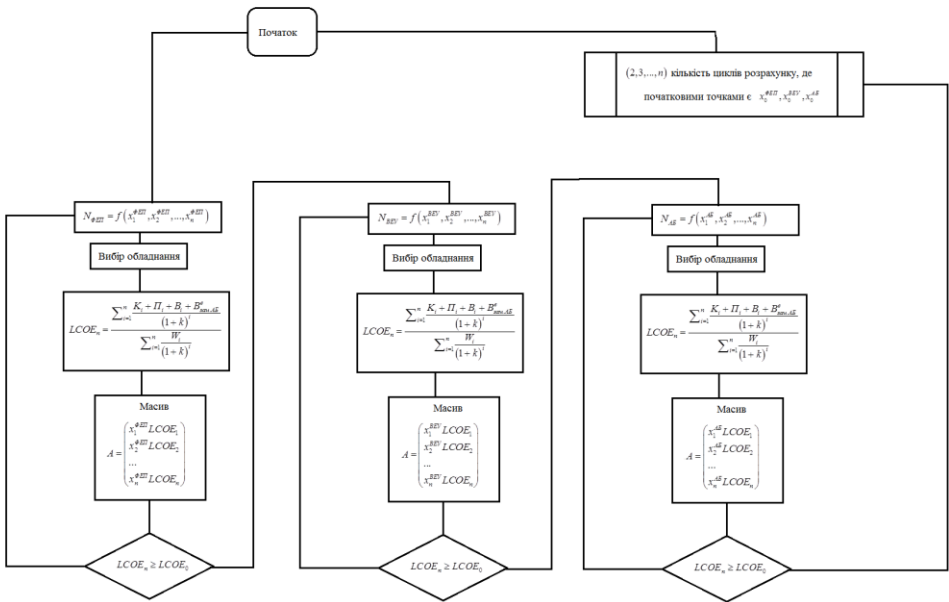


Рисунок 5.2 – Алгоритм оптимізації АСЕП

На рис. 5.3 показаний інтерфейс підсистеми введення даних з розгорнутим вікном ВЕУ.

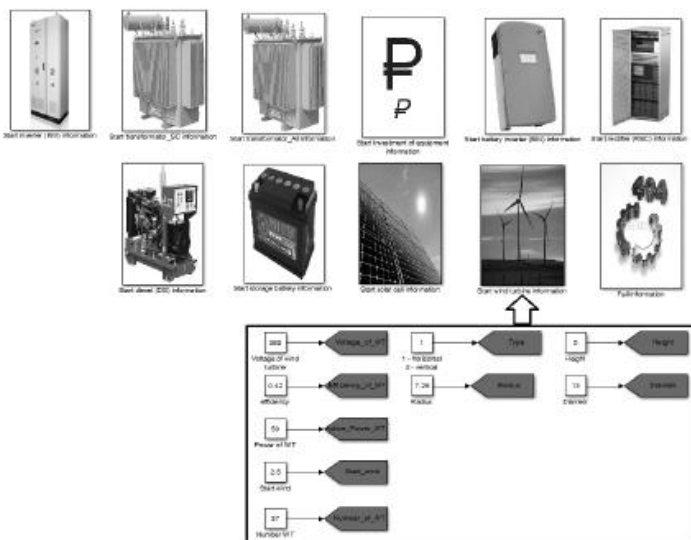


Рисунок 5.3 - Інтерфейс підсистеми введення даних ПВК, з розгорнутим вікном ВЕУ

Представлений інтерфейс дозволяє зручним чином вводити вихідну інформацію за елементами АСЕП, доповнювати ПОК новими (перспективними) елементами генерації, трансформації, перетворення, акумулювання енергії і т.д.

Розроблена методика реалізована в середовищі імітаційного моделювання Matlab / Simulink, так як це найбільш підходяща графічне середовище, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів будувати моделі елементів АСЕП. При вирішенні оптимізаційних задач використовувався персональний комп'ютер з наступними технічними характеристиками: Intel (R) Core (TM) i5-4690, 4 x 3.50 GHz, 8 Gb RAM. На рис. 5.4 показаний інтерфейс розробленого ПКВ оптимізації.

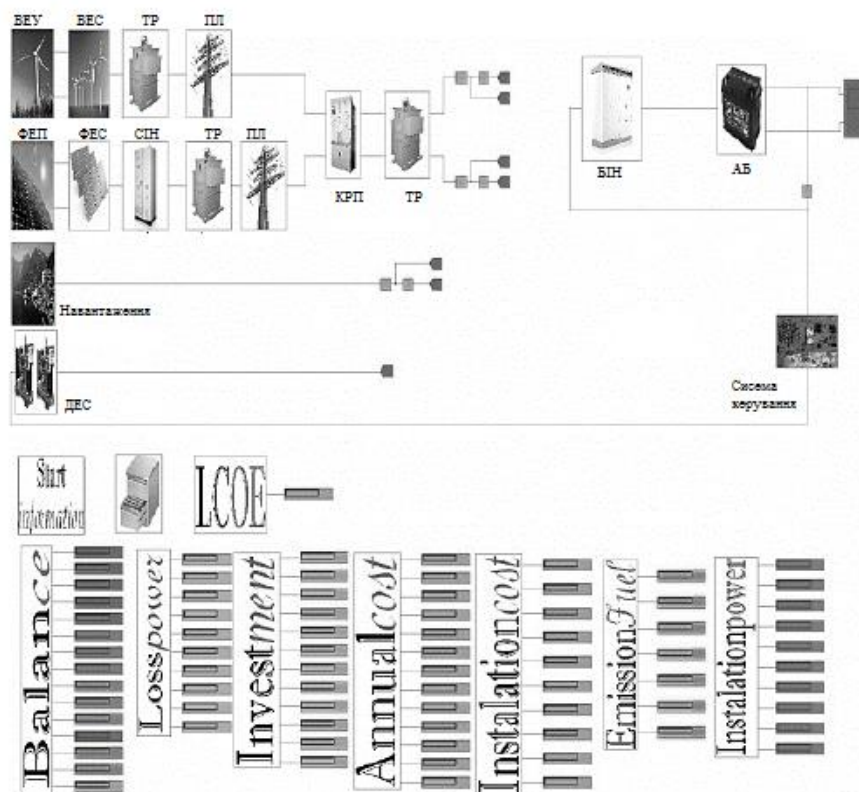


Рисунок 5.4 - Інтерфейс розробленого ПОК

Примітка: ВЕУ, ФЕП, НАВАНТАЖЕННЯ, ДЕС, ВЕС, ФЕП ТР-Р, ВЛ, КРУ, АБ, БІН, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ - блоки розрахунку вітроенергетичних установок, фотоелектричних перетворювачів, навантаження, дизельної електростанції, вітроенергетичної станції, що складається з окремих ВЕУ, фотоелектричної станції, що складається з окремих масивів ФЕП, трансформаторів, повітряних ліній, комплектних розподільних пристроїв, акумуляторних батарей, батарейних інверторів, системи управління.

5.2 Комплексна оптимізація АСЕП на базі поновлюваних джерел енергії та акумуляторних батарей з урахуванням надійності

У різні роки розрахункового періоду експлуатації АСЕП (наприклад, має тривалість 20 років) існує різна ймовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з невідпуском електроенергії споживачам. Так підвищена ймовірність невідпуску виникає в роки, на які припадають простой елементів основного обладнання АСЕП, обумовлені тривалими плановими ремонтами. Невідпуски електроенергії найбільш можливі, якщо в період планових ремонтів одних елементів, відбуваються аварійні зупинки інших елементів системи.

При використанні в АСЕП із ВДЕ зі стохастичним характером генеруючої потужності (ВЕУ, ФЕП) досить істотні Невідпуски електроенергії можливі при поєднанні планових ремонтів одних елементів з аварійними відмовами інших елементів і малими значеннями генерації від інших елементів ВДЕ. Облік даних положень можливий лише при моделюванні роботи АСЕП протягом усього розрахункового періоду. При цьому більш точно (ніж при оптимізації АСЕП без урахування надійності) враховуються витрати на планові і післяаварійні ремонти, а також витрата палива ДЕС і можуть бути оцінені невідпуски електроенергії по роках розрахункового періоду. Математична постановка задачі оптимізації АСЕП з урахуванням надійності.

$$\min LCOE(K, B_{yn}, B_{Tn}^{cp}, B_{зам.АБ}^e, B_{ik}^R, B_{ik}^{rep}, P_{уст}^{ФЕП}, P_{уст}^{ВЕУ}, W_{уст}^{АБ}), \quad (5.1)$$

$$x_{мер}^y = f_{мер}(P_{уст}^{ФЕП}, P_{уст}^{ВЕУ}, W_{уст}^{АБ}, y_{мер}^L), \quad (5.2)$$

$$P_{уст}^{ДЕС} = f(P_{нав}^{max}, P_{уст}^{ДГУ}), \quad (5.3)$$

$$K = F_K(P_{уст}^{ФЕП}, P_{уст}^{ВЕУ}, W_{уст}^{АБ}, P_{уст}^{ДЕС}, S^{об}), \quad (5.4)$$

$$\begin{pmatrix} P_{ДЕСj}^t \\ P_{ФЕПj}^t \\ P_{ВЕУj}^t \\ W_{АБзар-j}^t \\ W_{АБроз-j}^t \\ W_{АБj}^t \\ \Delta P_j^t \\ x_{мерj}^{yt} \\ B_j^t \\ I_{pj}^t \\ E_j^{not} \end{pmatrix} = A^H \begin{pmatrix} P_{уст}^{ФЕП} \\ P_{уст}^{ДЕС} \\ P_{уст}^{ДЕС} \\ W_{уст}^{АБ} \\ x_{мер}^y \\ Q_{кlj}^t \\ W_{АБj}^{t-1} \\ R_j^t \end{pmatrix}, \quad (5.5)$$

де $Q_{кlj}$ - матриця параметрів оточуючого середовища;

R_j^1 - всі елементи роботоздатні;

I_{pj}^t - множина номерів елементів, які працюють на t -му часовому інтервалі;

E_j^{not} - недовідпуск електричної енергії на t -му інтервалі.

$$\begin{pmatrix} C^t \\ Z_j^{nlt} \\ Z_j^{aet} \\ R_j^{t+1} \end{pmatrix} = D^H \begin{pmatrix} I_{роз}^t \\ C^{t-1} \\ C^{гран} \\ \Delta T_{ik}^{rep} \\ \Delta T_{ik}^H \\ X_{ik}^P \\ \zeta_{it} \\ Z_j^{nlt-1} \\ Z_j^{nlt-\Delta T_{ik}^H+1} \\ Z_j^{fdt-1} \\ Z_j^{fdt-\Delta T_{ik}^{rep}+1} \end{pmatrix}, t = 1, \dots, T^{pn}, j = 1, \dots, N_C, \quad (5.6)$$

де T^{pn} - кількість часових інтервалів в розрахунковому періоді;

N_c - число поєднань років метеоспостережень для яких проводиться розрахунки роботи АСЕП;

C^t - матриця напрацювань до кінця t -го часового інтервалу;

Z_j^{nl} - множина номерів елементів, що виводяться в плановий ремонт в кінці t -го часового інтервалу;

Z_j^{av} - безліч номерів елементів виведених в аварійний ремонт;

R_j^{t+1} - множина станів елементів на $t + 1$ часовому інтервалі;

i -ий елемент може бути працездатний, в стані вимушеного простою, в стані простою в ТО або плановому ремонті k -го виду, в стані простою в післяаварійному ремонті.

На рис. 5.5 показана структурна схема розробленої методики. Дана схема включає три блоки:

1. Блок формування матриці параметрів навколишнього середовища;
2. Блок рішення задачі комплексної оптимізації АСЕП без урахування надійності;
3. Блок рішення задачі комплексної оптимізації АСЕП з урахуванням надійності.

5.3 Висновки до розділу

Розроблено програмно-обчислювальний комплекс оптимізації АСЕП, який дозволяє враховувати вплив надійності роботи елементів на надійності електропостачання споживачів.

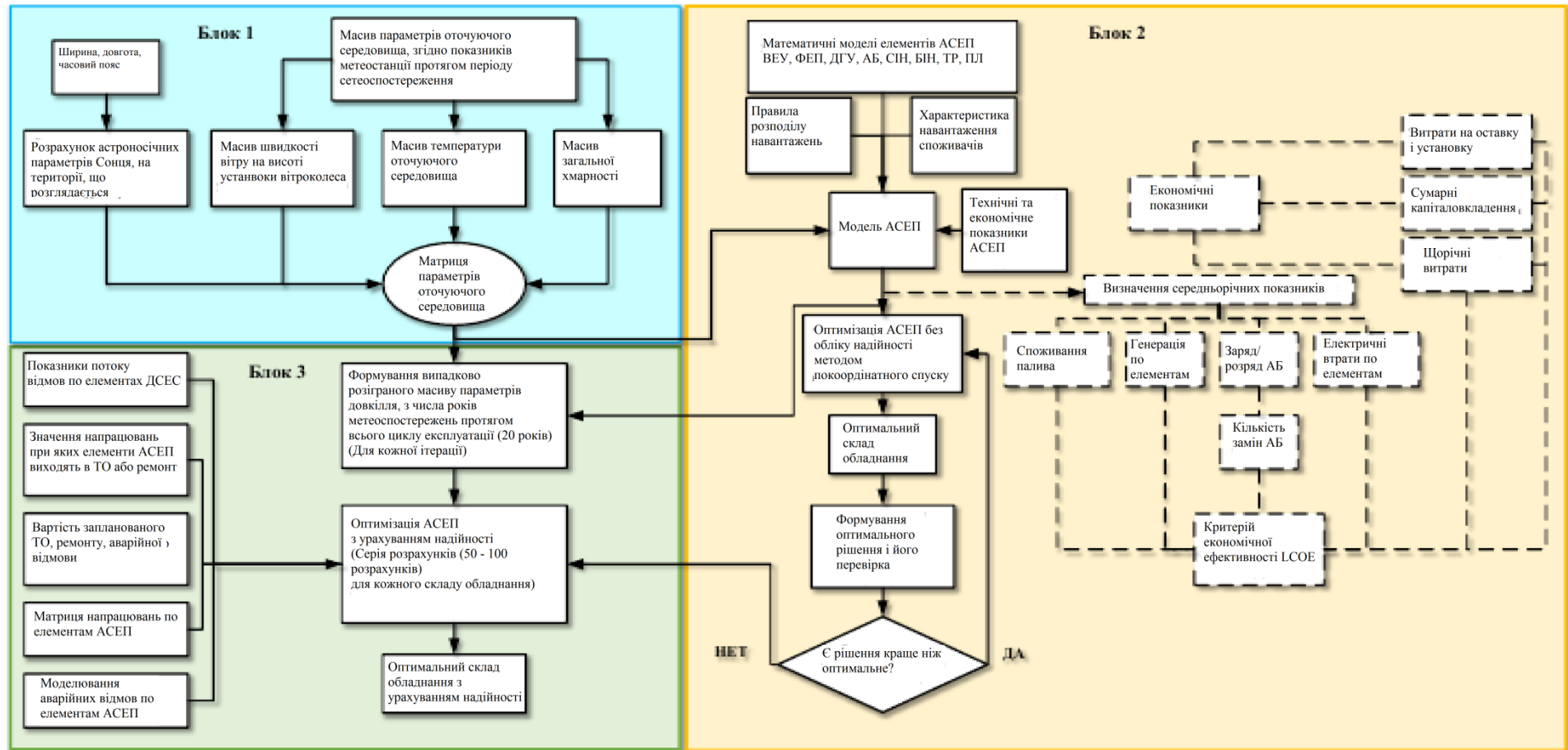


Рисунок 5.5 - Структурна схема методики комплексної оптимізації АСЕП

6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Комплексна оптимізація децентралізованої системи електропостачання для метеоумов Мукачівського району

Розглянемо АСЕП з умовою розташування в Мукачівському районі. У даному районі знаходиться метеостанція, яка фіксує параметри навколишнього середовища з кроком 3 години. На поточний момент кількість років метеоспостережень дорівнює 9.

Максимальне навантаження в зимовий період становить 65 кВт, а мінімальна 32 кВт. У літній період максимальне навантаження складає 43 кВт, а мінімальна 22 кВт.

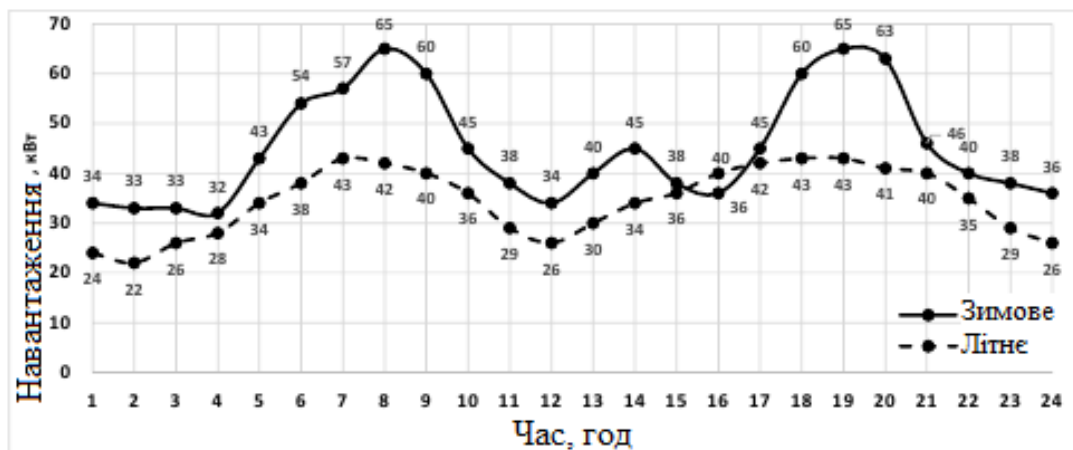


Рисунок 6.1 - Усереднені добові графіки навантаження АСЕП за січень і червень

Навантажувальна характеристика має комунально-побутовий характер, що виражається трьома максимумами в ранковий, обідній і вечірній період. У представлених нижче розрахунках прийнято, що ФЕП і ВЕУ встановлюються безпосередньо у споживача, тому повітряні лінії і трансформатори не враховувалися.

Швидкість вітру взимку - 5,3 - 6,1 м / сек., влітку - 4,3 - 4,6 м / сек.
 Середньорічна швидкість вітру - 4,9 м / сек на висоті 10 метрів.
 Середньорічна кількість годин, при яких швидкість вітру на розглянутій території дорівнює або вище номінального (7 м / сек), ВЕУ становить 2964 години. У табл. 6.1 представимо по градаціях середньорічні швидкості вітру на підставі шкали Бофорта за даними метеоспостережень 2005 - 2014.

Таблиця 6.1 - Середньорічні значення швидкості вітру за шкалою Бофорта для АСЕП за даними метеоспостережень 2005 - 2014

Бал	Бофорта	Опис	Середня швидкість вітру, м/с	Середньорічна число годин, год
0		Штиль	0 – 0,2	567
1		Тихий	0,3 – 1,5	1393
2		Легкий	1,6 – 3,3	1714
3		Слабкий	3,4 – 5,4	1719
4		Помірний	5,5 – 7,9	1151
5		Свіжий	8,0 – 10,7	917
6		Сильний	10,8 – 13,8	529
7		Міцний	13,9 – 17,1	403
8		Дуже міцний	17,2 – 20,7	191
9		Шторм	20,8 – 24,4	98
10		Сильний шторм	>24,4	78

На рис. 6.2 показана функція швидкості вітру в АСЕП по даними метеоспостережень 2005 року. Згідно шкали Бофорта швидкість вітру на розглянутій території є «помірна».

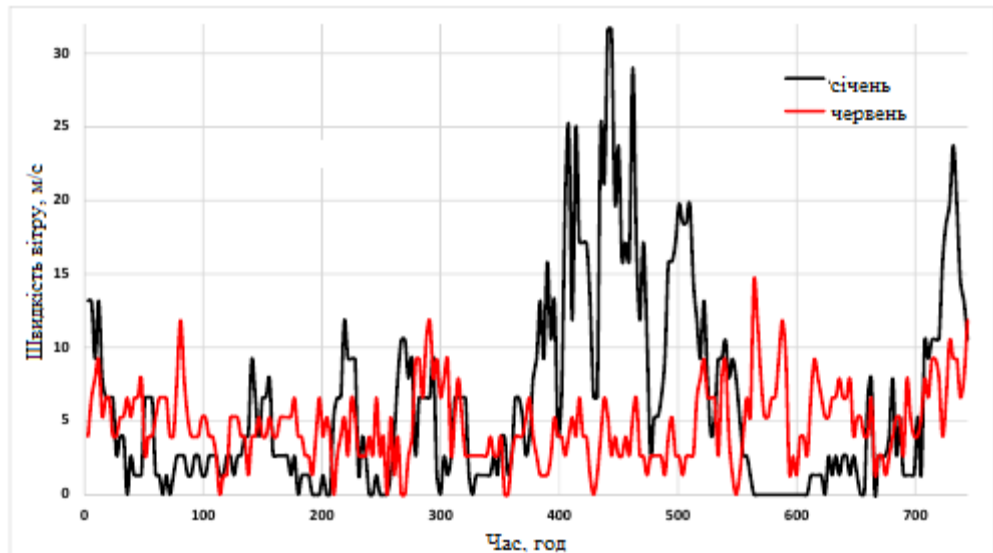


Рисунок 6.2 - Динаміка швидкості вітру на висоті 15 метрів для АСЕП протягом січня і червня за даними метеоспостережень 2005 року

На рис. 6.3 демонструється функція інтенсивності сонячного випромінювання в АСЕП з урахуванням хмарності в березні і червні.

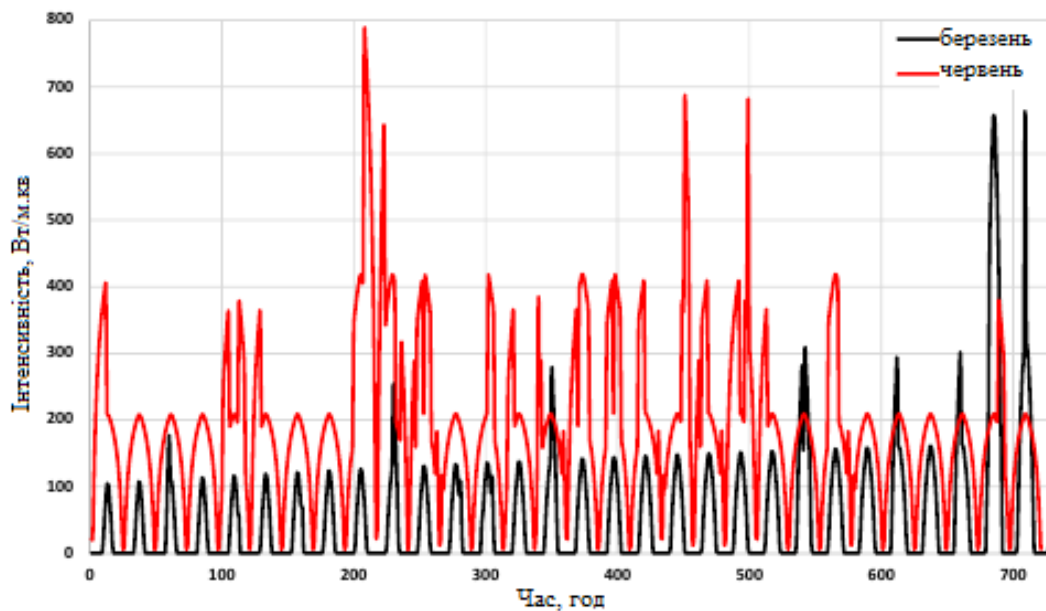


Рисунок 3.3 - Інтенсивність сонячного випромінювання в АСЕП в березні і червні з урахуванням хмарності за даними метеоспостережень 2005 року

При підвищенні ефективності розглядалися монокристалічні ФЕП (ТСМ - 250А), які на поточний момент досягли ефективності перетворення сонячної енергії близько 20%.

Використовувані ВЕУ (Condor Air 30) номінальною потужністю 30 кВт, відносяться до типу вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання (трилопатевої), які виходять на номінальні параметри при середніх швидкостях вітру (7 - 9 м / сек), і установкою вітроколеса на висоті до 20 метрів.

ДГУ представлені найбільш поширеними в АСЕП моделями агрегатів марки «ЯМЗ - 238», «ЯМЗ - 240», «Cummins» в діапазоні встановлених потужностей від 20 до 1000 кВт

Серед електрохімічних накопичувачів енергії, будуть розглянуті гелеві свинцево-кислотні АБ типу OPZV (Delta - 12 - 200), а також літій-іонні АБ (LT-LYP - 3,2 - 770).

Елементи силової електроніки і трансформації представлені СІН марки - Sungrow, БІН - Sunny Island.

Подальше повторення оптимізації не дало поліпшення цільової функції. В результаті 14 кроків оптимізації отримані наступні оптимальні значення встановлених потужностей елементів АСЕП: ФЕП - 0 кВт, ВЕУ - 150 кВт, ДЕС - 2x75 кВт, СІН - 0, БІН - 180 кВт і АБ сумарною місткістю 720 кВт·год.

На рис. 6.4 - 6.7 показано зміна цільової функції АСЕП на ітераціях покоординатного спуску.

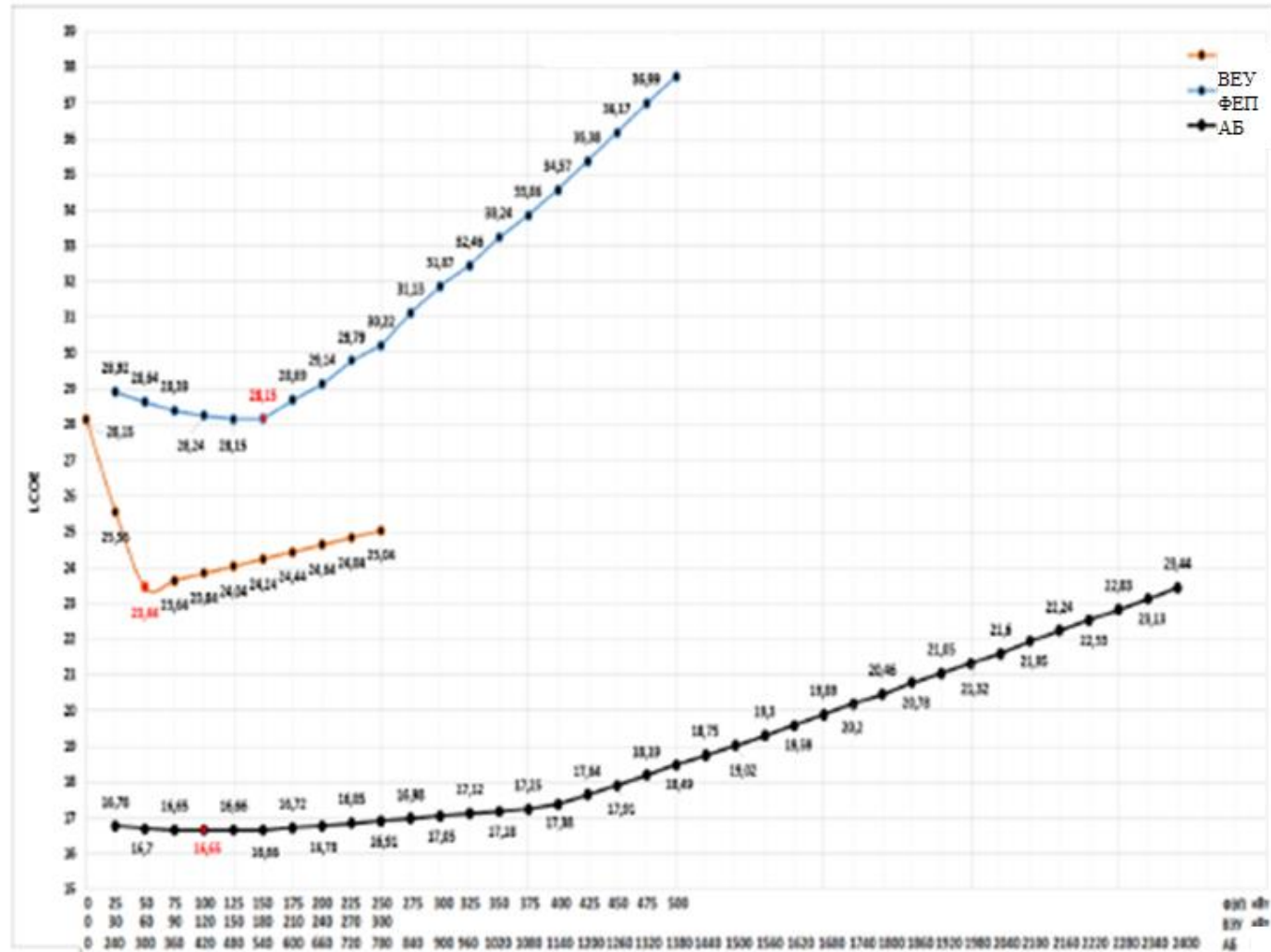


Рисунок 6.4 - Зміна цільової функції при комплексній оптимізації АСЕП на I ітерації

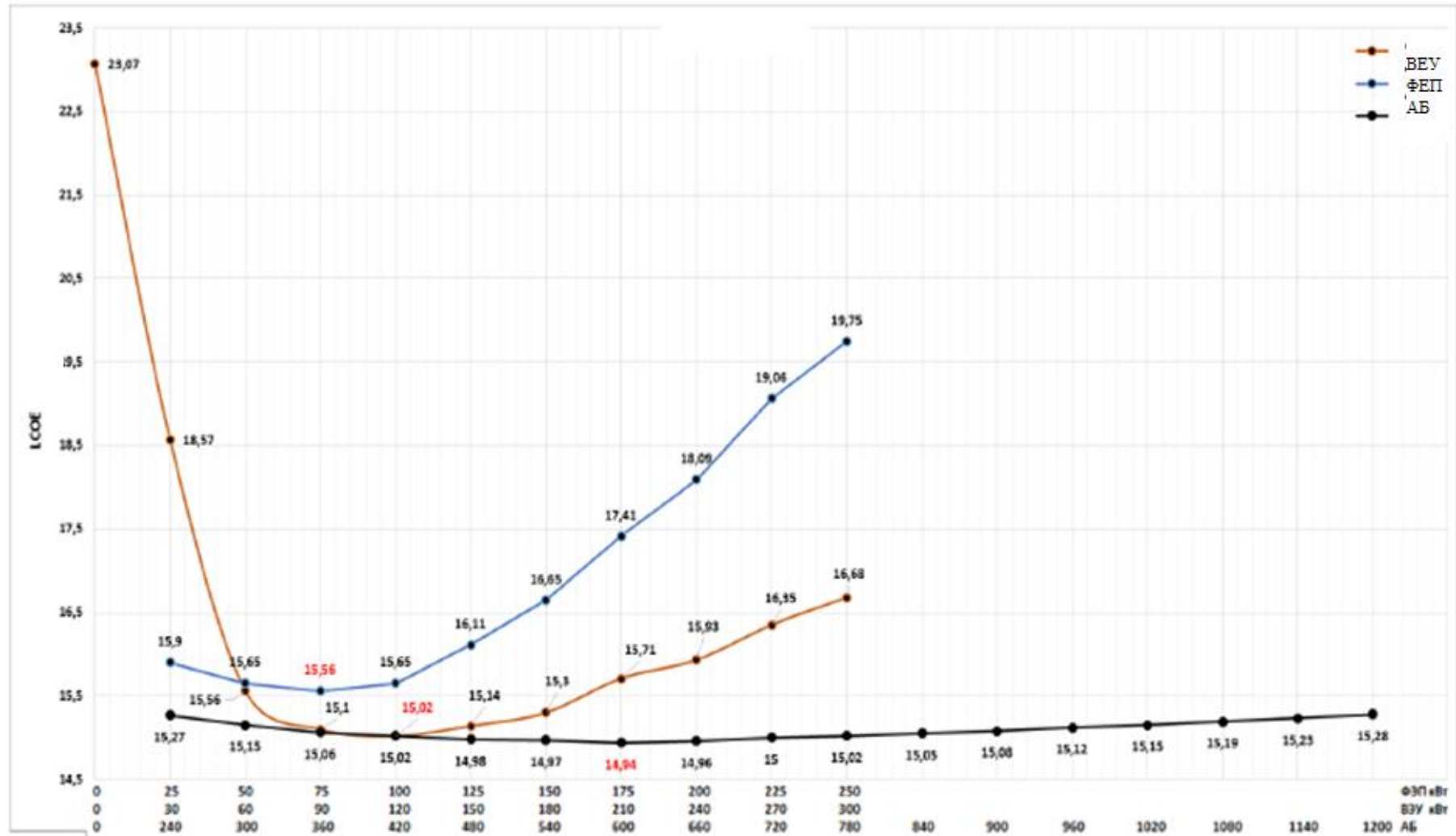


Рисунок 6.5 - Зміна цільової функції при комплексній оптимізації АСЕП на II ітерації

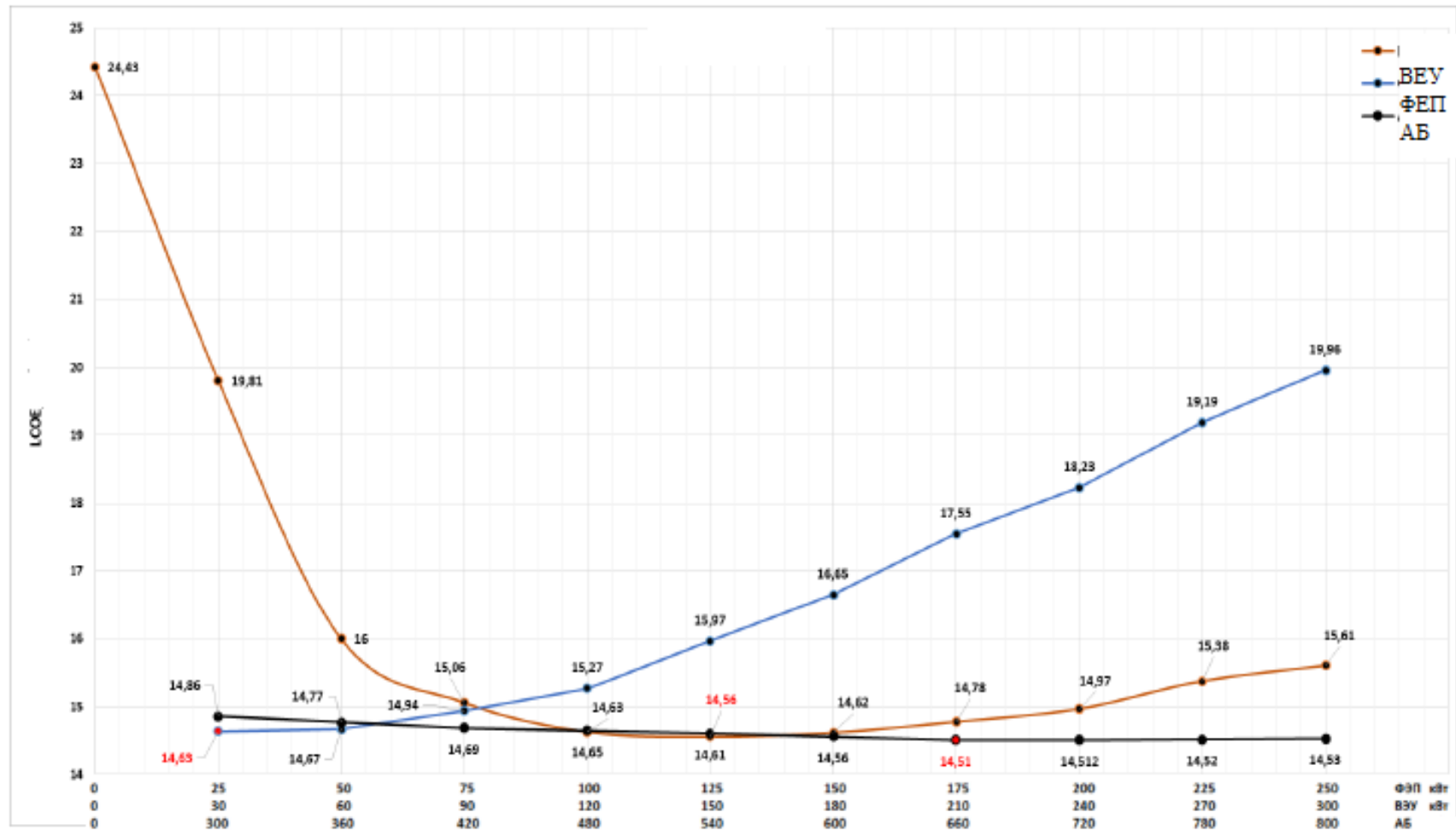


Рисунок 6.6 - Зміна цільової функції при комплексній оптимізації АСЕП на III ітерації

Згідно з отриманими результатами підвищення ефективності АСЕП, для метеоумов Мукачівського району, оптимальною технологією виробництва електроенергії є вітро-дизельний комплекс генерації зі свинцево-кислотними АБ. Застосування літій-іонних АБ дозволяє виключити їх заміну протягом усього циклу експлуатації, при цьому їх залишкова вартість на кінець розрахункового періоду склала 67,5 тис. грн. Вартість виробленого кВт·год менше в варіанті зі свинцево-кислотними АБ, за рахунок менших капіталовкладень (на 1,491 млн.грн) і меншого середньорічного споживання дизельного палива (на 7 тонн).

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Актуальність проблеми електробезпеки

Сучасний рівень технічного прогресу неможливий без широкого впровадження електроустаткування, що в свою чергу викликає необхідність постійного вдосконалення вимог щодо його безпечного обслуговування та засобів захисту. Електроенергія – рухлива сила всього сучасного життя, без нього не можуть обходитися більшість життєво необхідних систем. Тим не менш більшість людей помирають чи отримують пошкодження від електроенергії.

Широке використання електроенергії у всіх галузях народного господарства зумовлює розширення кола осіб, котрі експлуатують електрообладнання. Тому проблема електробезпеки під час експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

У зв'язку зі зростанням рівня смертельного травматизму на підприємствах Міністерства палива та електроенергетики України Держгірпромнагляд запропонував Мінпаливноенерго та територіальним органам Держгірпромнагляду провести перевірки роз'єднувачів напругою 6-10 кВ, зажадати від енергопостачальних компаній вивести з експлуатації неоперативні роз'єднувачі, заборонити практику шунтування роз'єднувачів та інших комунікаційних апаратів, а також забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок та проведення ремонтних робіт і безпечне виконання робіт оперативно – виїзними бригадами.

Елетротравматизм порівняно з іншими видами травматизму має деякі відмінні особливості. Елетротравматизм складає близько 1% від загальної кількості усіх нещасних випадків на виробництві. Але серед нещасних випадків зі смертельними наслідками елетротравми складають близько 40%, посідаючи одне з перших місць, причому близько 90% смертельних уражень

електричним струмом трапляється в електроустановках з напругою 127 – 380 В.

Необхідно розрізняти наступні електротравми:

- пов'язані з порушеннями нормальної роботи електрообладнання, при яких через тіло людини утворюється електрична петля чи в результаті яких людина опиняється в електромагнітному полі більшої напруги;

- пов'язані з порушенням нормальної роботи електрообладнання, при яких не виникає електрична петля через тіло людини, а ураження людини викликається опіками, механічними травмами, осліпленням дугою і т.д.;

- змішані, при яких на потерпілого спільно впливають фактори, вказані в попередніх пунктах.

Наслідки негативного впливу дії електричного струму на організм людини залежать від наступних факторів:

- сили струму та напруги; (до 5 мА – безпечний; 5 ÷ 20 мА – спостерігаються легкі травми; 20 ÷ 50 мА – травми серцевої системи; 50 ÷ 100 мА – відбуваються важкі травми; більше 100 мА – настає смерть);

- опору тіла людини проходженню струму;

- виду та частоти струму;

- тривалості проходження струму крізь тіло людини (до 4 хв. – наслідки майже непомітні; до 6 хв. – інвалідність людини; до 8 хв. – клінічна смерть, кома; більше 8 хв. – біологічна смерть.

- шляху протікання струму через людину;

- індивідуальних властивостей людини.

З метою запобігання подібним нещасним випадкам та підвищення рівня електробезпеки необхідно здійснювати організаційно-технічні заходи, спрямовані на поліпшення стану електробезпеки на підприємствах:

- створення нормативної бази з питань електробезпеки;

- дотримання вимог безпеки при розробці електроустановок, їх спорудженні та експлуатації;

- підвищення рівня навчання електротехнічного персоналу, всього населення щодо розуміння небезпеки ураження електричним струмом;
- безпечного поводження при виконанні робіт в електроустановках та при користуванні ними.

7.2 Вимоги до профілактичних медичних оглядів для працівників ПК

Однією із характерних особливостей сучасного розвитку суспільства є зростання сфер діяльності людини, в яких використовуються інформаційні технології. Широке розповсюдження отримали персональні комп'ютери. Однак їх використання загостило проблеми збереження власного та суспільного здоров'я, вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових підходів до організації робочих місць, проведення профілактичних заходів для запобігання розвитку негативних наслідків впливу ПК на здоров'я користувачів.

Зараз у нашій країні проводиться розробка національних нормативних документів, спрямованих на охорону праці користувачів ПК. Найбільш повним нормативним документом щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК є „Державні санітарні правила й норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин” ДСанПіН 3.3.2.007 – 98. Об'ємно-планувальні рішення будівель та приміщень для роботи з ПК мають відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007 – 98.

Розміщення робочих місць з ПК у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах заборонено. Площа на одне робоче місце становить не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а об'єм – не менше ніж $20,0 \text{ м}^3$.

Приміщення для роботи з ПК повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5 – 28 – „Природне і штучне освітлення”.

Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче, ніж 1,5%.

Виробничі приміщення повинні обладнуватись шафами для зберігання документів, магнітних дисків, полицями, стелажми, тумбами тощо, з урахуванням вимог до площі приміщень.

У приміщеннях з ПК слід щоденно робити вологе прибирання. Приміщення із ПК мають бути оснащені аптечками першої медичної допомоги.

При приміщеннях із ПК мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою (СНиП 2.09.04. – 87 „Административные и бытовые здания”).

Штучне освітлення в приміщеннях із робочими місцями, обладнаними ПК має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, у разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення, додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300 – 500 лк. Якщо це неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк.

Як джерела світла для штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ.

У разі влаштування відбитого освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях допускається застосування металогалогенних ламп потужністю 250 Вт. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення.

Працюючі з ПК підлягають обов'язковим медичним оглядам: попереднім – при влаштуванні на роботу і періодичним – протягом трудової діяльності, відповідно до наказу МОЗ України N45 від 31.03.94 р.

Періодичні методичні огляди мають проводитися раз на два роки комісією в складі терапевта, невропатолога та офтальмолога.

До складу комісії, що проводить попередні та періодичні медичні огляди, при необхідності (за наявністю медичних показань), можуть залучатись до оглядів лікарі інших спеціальностей.

Основними критеріями оцінки придатності до роботи з ПК мають бути показники стану органів зору: гострота зору, показники рефракції, акомодатції, стану бінокулярного апарату ока. При цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

Виконання вимог, наведених в Правилах, в комплексі з практичним здійсненням первинних та спеціальних заходів повинно стати нормою діяльності всіх фахівців, безпосередньо пов'язаних з навчальними та виробничими колективами.

7.3 Економічне значення заходів щодо покращення умов охорони праці

Економічне значення охорони праці оцінюється за результатами, отриманими при зміні соціальних показників шляхом впровадження заходів з покращення умов праці: підвищення продуктивності праці; зниження непродуктивних витрат часу і праці; збільшення фонду робочого часу; зниження

витрат, пов'язаних з плинністю кадрів через умови праці, тощо. Збільшення фонду робочого часу і ефективність використання обладнання досягається шляхом зниження простоїв протягом зміни внаслідок погіршення самопочуття через умови праці та мікротравми. При комплексній дії на людину декількох шкідливих виробничих чинників простої на робочому місці можуть досягати 20...40% за зміну через виробничий травматизм та погане самопочуття. Зростання непродуктивних витрат часу, а значить, і праці, обумовлюється також поганою організацією робочих місць: без урахування антропометричних вимог виникає необхідність виконання зайвих рухів та докладання додаткових фізичних зусиль через незручне положення, невдале розташування органів управління обладнанням і невдале конструктивне оформлення робочих місць. В результаті поліпшення умов праці нормалізується психологічний клімат в трудовому колективі, підвищується налагодженість в роботі, зростає продуктивність праці. Збільшення фонду робочого часу досягається скороченням цілодобових втрат на виробничий травматизм та неявки на роботу. Шкідливі умови праці суттєво впливають не тільки на виникнення професійних захворювань, а й на виникнення і тривалість загальних захворювань.

Ефективність заходів щодо поліпшення умов і охорони праці оцінюється, в першу чергу, за показниками соціальної ефективності, які передбачають створення умов праці, що відповідають санітарним нормам і вимогам правил безпеки. Покращення умов і охорони праці призводить до зменшення кількості виробничих травм, загальної і професійної захворюваності; до скорочення чисельності працівників, що працюють в умовах, які не відповідають санітарно-гігієнічним нормам; зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок травматизму чи професійної захворюваності; скорочення плинності кадрів через незадовільні умови праці тощо.

Для оцінки соціальної ефективності заходів з удосконалення умов та охорони праці використовуються такі показники:

- скорочення кількості робочих місць, що не відповідають вимогам нормативних актів щодо безпеки праці;
- скорочення чисельності працівників, які працюють в умовах, що не відповідають санітарним нормам;
- збільшення кількості машин, механізмів та виробничих приміщень, приведених до вимог норм охорони праці;
- зменшення коефіцієнта частоти травматизму;
- зменшення коефіцієнта тяжкості травматизму;
- зменшення коефіцієнта частоти професійних захворювань через несприятливі умови праці;
- зменшення коефіцієнта тяжкості захворювання;
- зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок травматизму чи професійного захворювання;
- скорочення плинності кадрів через несприятливі умови праці.

Оцінка соціально-економічної ефективності заходів здійснюється на підприємствах усіх форм власності, у тому числі на робочому місці, дільниці, в цеху. Вона може визначатися також по галузі та в державі в цілому. Показники соціальної і соціально-економічної ефективності розраховуються як відношення величин соціальних або соціально-економічних результатів до витрат, необхідних для їх здійснення. Такі показники характеризують кількість умовних одиниць сукупного об'єму соціального чи соціально-економічного результату в розрахунку на одиницю витрат.

Показники соціальної і соціально-економічної ефективності використовуються для визначення фактичного рівня питомих витрат, необхідних для зменшення кількості працюючих у незадовільних умовах, зниження рівня травматизму, захворюваності, плинності кадрів на різних підприємствах та в економіці в цілому.

7.4 Радіаційний та хімічний захист

Державна політика України у сфері захисту населення і територій базується на Конституції України, відповідних законах, актах Президента України і урядових рішеннях.

"Людина, її життя і здоров'я, честь і гідність, недоторканість і безпека визначається в Україні найвищою соціальною цінністю", -- визначає стаття 3 Конституції України.

Концепція захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження

8 червня 2000 р. Президент України підписав Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру".

Цей Закон визначає організаційні та правові основи захисту громадян України та громадян інших держав, які перебувають на території України, захисту об'єктів виробничого і соціального призначення, довкілля від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру це — система організаційних, технічних, медико-біологічних, фінансово-економічних та інших заходів для запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру і ліквідації їх наслідків, що реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, відповідними силами та засобами підприємств, установ та організацій, незалежно від форм власності й господарювання, добровільними формуваннями і спрямовані на захист населення і територій, а також матеріальних і культурних цінностей та довкілля.

Радіаційний та хімічний захист передбачає виявлення та оцінювання радіаційної та хімічної обстановки, організацію та проведення дозиметричного і хімічного контролю, розроблення типових режимів

радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального та колективного захисту, організацію і проведення знезаражування.

Заходи радіаційного і хімічного методу забезпечуються: завчасним накопиченням і підтриманням у готовності засобів індивідуального захисту, приладів дозиметричного і хімічного контролю, якими забезпечуються насамперед особовий склад формувань, які беруть участь в аварійно-рятувальних та інших невідкладних роботах, а також персонал радіаційно і хімічно небезпечних об'єктів і населення, яке проживає в зонах небезпечного зараження та біля них; терміновим впровадженням засобів, способів і методів виявлення та оцінювання масштабів і наслідків аварії на радіаційно та хімічно небезпечних об'єктах; створенням засобів захисту і приладів дозиметричного і хімічного контролю; підготовкою об'єктів побутового обслуговування і транспортних підприємств для проведення санітарної обробки людей та спеціальної обробки одягу, майна і транспорту; завчасним створенням, пристосуванням та використанням засобів колективного захисту населення від радіаційного та хімічного ураження, організацією допомоги населенню в придбанні в особисте використання засобів індивідуального захисту і дозиметрів.

7.5 Інформація та оповіщення. Поведінка населення при загрозі надзвичайної ситуації

Головним і невід'ємним елементом всієї системи захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру є інформація та оповіщення.

Зміст інформації мають становити відомості про надзвичайні ситуації, що прогнозуються або вже виникли, з визначенням їхньої класифікації, меж поширення і наслідків, а також заходи реагування на них.

Оперативну і достовірну інформацію про стан захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру,

методи та способи їх захисту, заходи безпеки зобов'язані надавати населенню через засоби масової інформації центральні та місцеві органи виконавчої влади та виконавчі органи рад.

Оповіщення про загрозу виникнення надзвичайних ситуацій і постійне інформування про них населення забезпечується шляхом:

завчасного створення, підтримання в постійній готовності загальнодержавної і територіальних автоматизованих систем централізованого оповіщення населення;

організаційно-технічного з'єднання територіальних систем централізованого оповіщення і систем оповіщення на об'єктах господарювання;

завчасного створення та організаційно-технічного з'єднання із системами спостереження і контролю постійно діючих локальних систем оповіщення та інформування населення в зонах можливого катастрофічного затоплення, районах розміщення радіаційних і хімічних підприємств та інших об'єктів підвищеної небезпеки;

централізованого використання загальнодержавних і галузевих систем зв'язку, радіопровідного, телевізійного оповіщення, радіотрансляційних мереж та інших технічних засобів передавання інформації.

Оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайної ситуації у мирний, в особливий період та постійне інформування його про наявну обстановку — одне з важливих завдань цивільного захисту України. Для цього створюється система, організаційно-технічне об'єднання засобів для передачі сигналів і розпоряджень органів управління цивільного захисту.

Система оповіщення та інформативного забезпечення створюється завчасно в усіх ланках пунктів управління.

Основу системи оповіщення утворюють автоматизована система централізованого оповіщення мережі зв'язку та радіомовлення, а також спеціальні засоби. Автоматизована система оповіщення створюється завчасно на базі загальнодержавної мережі зв'язку та радіомовлення і

поділяється на державну та територіальну. Вона може забезпечити оповіщення населення, поєднавши місцеву телефонну мережу для подачі сигналу "Увага всім!" та повну інформацію за допомогою засобів радіомовлення й телебачення.

Оповіщення підпорядкованих штабів, органів управління цивільного захисту і населення організовується і забезпечується старшими органами управління.

7.6 Протирадіаційне укриття

Протирадіаційне укриття (ПРУ) — це захисна споруда, яка забезпечує захист у ній людей від радіоактивних речовин і опромінення

в зонах радіоактивного забруднення місцевості, отруйних і сильнодіючих ядух речовин, біологічних засобів у краплинно-рідинному вигляді та світлового випромінювання ядерного вибуху, наслідків урагану.

Захисні властивості протирадіаційних укриттів оцінюються коефіцієнтом захисту, який показує, у скільки разів доза радіації на відкритій місцевості на висоті 1 м більша від дози радіації в укритті, тобто коефіцієнт захисту показує, у скільки разів ПРУ послаблює дію радіації, а відповідно і дозу опромінення людей.

Протирадіаційні укриття можуть обладнуватись насамперед у підвальних поверхах будинків і споруд. Підвали в дерев'яних одноповерхових будинках ослаблюють дозу радіації в 7 разів, а в житлових одноповерхових кам'яних (цегляних) будинках — у 40, у двоповерхових — у 100, середня частина підвалу кількоповерхового кам'яного будинку — у 800—1000 разів. При невисоких рівнях радіації, а також для захисту від бактеріальних засобів, парів отруйних і сильнодіючих ядух речовин можна використовувати кам'яні (цегляні) або дерев'яні будівлі.

При виборі й підготовці укриттів для захисту від радіоактивних речовин слід враховувати захисні властивості будівельних матеріалів та окремих конструкцій.

За шаром половинного ослаблення матеріалу можна визначити коефіцієнт ослаблення для будь-якої товщини, знаючи, що потік радіоактивних випромінювань буде зменшено вдвічі стільки разів, скільки шарів половинного ослаблення є в товщі матеріалу. Наприклад, стіна будинку із саманної цегли має товщину 28 см, відомо, що товщина шару половинного ослаблення саману дорівнює 14 см. Отже, будинок ослаблюватиме потік радіоактивних випромінювань у чотири рази, тобто люди в такому приміщенні одержать дозу опромінення, зменшену в чотири рази.

Коли стіни укриття складаються з кількох шарів різних матеріалів, то спочатку розраховують коефіцієнти ослаблення для кожного шару матеріалу, а потім складають їх і одержують величину сумарного коефіцієнта ослаблення укриття. Наприклад, погріб має дерев'яне перекриття з міцних порід дерева товщиною 30 см і засипаний шаром глини 55 см. Отже, коефіцієнт ослаблення дерев'яного перекриття становитиме 2, а глиняного шару -- 10.

Коефіцієнт ослаблення у-випромінювання радіоактивного забруднення погребя дорівнюватиме $14 - 2 = 12$.

Оцінюючи захисні властивості будинків та укриттів, слід звернути увагу на ті частини, де можливе проникнення радіоактивного пилу, небезпечних хімічних речовин. Такими місцями в будинках є вікна, двері, вентиляційні отвори і продухи в цоколі будинку, пічні труби, димарі, топкові отвори. Небезпечним є потрапляння радіоактивного пилу на горища, бо це збільшить дозу опромінення людей, які перебувають у будинку.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

Повноцінне життя кожної людини на сучасному етапі розвитку суспільства у значній мірі залежить від стану середовища, в якому вона проживає. Людина завжди розглядала навколишнє середовище як джерело своїх життєвих ресурсів, за рахунок його прагнула покращити умови свого існування, задовольнити свої життєві потреби. При цьому створювалися і освоювалися все нові і нові джерела енергії для технічного прогресу.

Тому проблеми взаємодії суспільства і природи, людини і біосфери набувають сьогодні особливого значення, так як вони визначають перспективу існування життя на Землі.

Забруднення природи людиною - одна з давніх проблем в історії цивілізації.

Історично так склалося, що, переслідуючи певну мету (добування корисних копалин, виготовлення продуктів споживання, будівництво транспортних шляхів, штучних водосховищ для ГЕС), людство не враховувало можливих екологічних наслідків, які можуть виникнути при таких діях на навколишнє середовище.

Декілька століть тому, коли масштаби виробництва були не дуже високими, втручання людини в природні процеси суттєво не змінювало екологічного балансу між відновлювальними природними процесами і виробничою діяльністю людини.

Згідно закону України “Про охорону навколишнього і природного середовища” даний проект, що розробляється необхідно проаналізувати з точки зору негативного впливу на довкілля і віднайти шляхи зменшення цього впливу.

8.2 Вплив електричних мереж на навколишнє середовище

Підстанція являє собою електроустановку антропогенної дії на природне середовище. Одним з джерел такої дії являється електромагнітне поле ліній.

По природоохоронній класифікації даний вид впливу відноситься до електромагнітного забруднення навколишнього середовища, яке за встановленими критеріями дії має наступні ознаки:

- Генезис – фізичний;
- Інтенсивність – слабка (не накопичуюча дія);
- Масштаб – локальний;
- Тривалість – постійна в режимі діючої електроустановки;
- Періодичність – епізодична, по знаходженню живого організму в органічній зоні біля електроустановки.

Діюче в Україні природоохоронне законодавство встановлює принципи, правила і екологічні відношення між компонентами навколишнього середовища. Так звані попереджувальні санітарні норми регламентують гранично допустимі рівні напруги електричного поля, які виникають через установки електропередачі змінного струму промислової частоти:

- на території зони жилої забудови – 1 кВ/м;

- в населеній місцевості, за зоною жилої забудови (землі в зонах міста з врахуванням перспективного розвитку на 10 р., пригородні і зелені зони, курорти, землі поселень міського типу, в межах житлової зони і сільських населених пунктів, в межах цих пунктів), а також на території огорodів і садів – 5 кВ/м;

- на ділянках перетину ПЛ з автомобільними дорогами I - IV категорій 10кВ/м;

- в ненаселеній місцевості і на сільськогосподарських угіддях (незабудована територія, яку відвідують люди, доступна транспорту) – 15 кВ/м;

- в труднодоступній місцевості (недоступній для транспорту і сільськогосподарських машин) і на ділянках, спеціально огорожених щоб запобігти доступу населення – 20 кВ/м.

Електричне поле фіксується на висоті 1,8 м від рівня землі. Напруженість електричного поля в зоні електроустановок росте з підвищенням класу напруги установок. Її величина становиться особливо суттєвою при напрузі 330 кВ і вище.

Електроустановки підстанції будь-якої напруги не створюють електричного поля, яке виходило б за межі території РУ і тим більш за межі ПС. Тому підстанції не представляють ніякої небезпеки для населення за умов впливу електричного поля. Всі положення по напруженості електричного поля, перерахованих вище, за межами підстанції дотримуються повсюдно.

Для повітряних ліній 330 кВ і вище з метою зменшення впливу електричного поля на населення встановлені санітарно-захисні зони, межі якої по обидві сторони від проекцій крайніх проводів на землю в перпендикулярному до ПЛ напрямку складають:

- 20 м – для ПЛ напругою 330 кВ;
- 30 м – для ПЛ напругою 500 кВ;
- 40 м – для ПЛ напругою 750 кВ.

У випадку побудови в Україні ліній електропередачі постійного струму актуальною стане проблема встановлення гранично допустимих для людини рівня напруженості електричного поля, які будуть створювати ці лінії.

Із законодавчих актів України по охороні навколишнього середовища впливають вимоги до деяких інших факторів впливу електроустановок на навколишнє середовище, а саме:

Акустичний вплив. Цей фактор виникає від корони у погану погоду, в основному на ПЛ надвисокої напруги. Граничний рівень звукового тиску приймається як для загально-технічних пристроїв – 70дБ. На практиці навіть Л 1150 кВ задовольняють цю норму;

Вплив гармонічних перешкод на лінії зв'язку, радіо- і телевізійні установки. У зв'язку з технічними рішенням в конструкціях ПЛ вказаний вплив обмежується до встановлених спеціальними технічними нормами допустимих значень;

При експлуатації ПС в нормальних режимах роботи фактором негативного впливу на навколишнє середовище являється перевищенням допустимого рівня шуму, який виникає при роботі трансформаторів і вентиляторів і їх систем охолодження. Еквівалентний рівень звуку від трансформаторів і вентиляторів може досягати 80 – 90 дБ·А, при тому, що у межах житлової забудови допускається не більше 45дБ·А. Якщо зниження рівня звуку за рахунок віддалення джерела звуку від житлової забудови є недостатнє, необхідно передбачити додаткові заходи по шумозахисту (шумозахисні екрани, захисні насадження дерев та інше). Для приміщень закритих ПС необхідно перевіряти шумозахисні властивості огорожуючих конструкцій. Зазвичай на системах охолодження трансформаторів в закритих ПС передбачені спеціальні пристрої – шумозаглушувачі.

8.3 Заходи по охороні навколишнього середовища на об'єкті в процесі експлуатації трансформатора

Підстанція 110/35/10 кВ Збараж розташована на території ВАТ «Тернопільобленерго» Збараського Рем. Шум, який створюють трансформатори встановлені на ВРП- 110 кВ, підстанції не перевищує 35дБ. Трансформатори з усіх сторін екрановані будівлями (ВРП – 10 кВ, складські та виробничі приміщення) та деревами. Відстань від

трансформатора до найближче розташованого житлового будинку складає 100 м. Район масової забудови жилими будинками, розташований на відстані понад 300м., від підстанції.

При аварії на трансформаторі або іншому оливо заповненому обладнанні виникає небезпека забруднення навколишнього середовища трансформаторною оливою. З метою запобігти розливу оливи навкруги такого обладнання будують оливо-приймні ями, з відводом, або без відводу масла – згідно нормам ПУЕ.

Для великих трансформаторів, крім того передбачаються закрита система оливо-відводів і герметичні резервуари олієзбірники, розраховані на прийом не тільки аварійного скиду оливи, але й води при пожежогасінні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

1. Розвинуто методику комплексної оптимізації АСЕП, що дозволяє врахувати кореляцію між параметрами навколишнього середовища (швидкість вітру, тиск, температура повітря і т.д.), а також динаміку зміни даних параметрів, яка заснована на використанні багаторічних масивів спостережень автоматичних метеостанцій.

2. Реалізована модель розрахунку електричних режимів АСЕП із ВДЕ і АБ, в рамках рішення задачі по підвищенню енергетичної ефективності, що дозволяє здійснити вибір елементів трансформації, передачі, перетворення і акумулювання електроенергії. В свою чергу це дозволяє збільшити енергоефективність АСЕП на 25-33% та знизити капітальні затрати при реалізації нової АСЕП на 40%.

3. Запропоновано підхід до розрахунку показників надійності АСЕП з ВДЕ, АБ, елементами силової електроніки, який заснований на хронологічному моделюванні (послідовному розгляді з певним кроком всіх режимів роботи АСЕП протягом розрахункового періоду) в поєднанні з урахуванням випадкового характеру аварійних відмов елементів АСЕП і параметрів навколишнього середовища. Даний підхід дозволяє визначити показники надійності електропостачання споживачів АСЕП по роках розрахункового періоду. При цьому враховуються параметри потоку відмов елементів АСЕП, тривалість планових ТО і післяаварійних ремонтів, а також граничний напруження елементів АСЕП після досягнення яких вони виводяться в планові ТО і ремонти.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. S.A. Klein. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces // *Solar Energy*. 1977. V. 19. P. 325-329.
2. S.A. Klein, W.A. Beckman. Review of Solar Radiation Utilizability // *Journal of Solar Energy Engineering*. 1984. V. 106. P. 1-10.
3. R.K. Aggarwal. Estimation of Total Solar Radiation on Tilted Surface // *Journal of Environmental Engineering and Technology*. 2013. V. 2. P. 4-6.
4. Ahmed Said Al Busaidi, Hussein A Kazem, Abdullah H Al-Badi, Mohammad Farooq Khan. A review of optimum sizing of hybrid PV–Wind renewable energy systems in Oman // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. V. 53. P. 185-193.
5. Arnau Gonzales, Jordi-Roger Riba, Antony Rius, Rita Puig. Optimal sizing of a hybrid grid-connected photovoltaic and wind power system // *Applied Energy*. 2015. V. 154. P. 752-762.
6. Abdolvahhad Fetanat, Ehsan Khorasaninejad. Size optimization for hybrid photovoltaic–wind energy system using ant colony optimization for continuous domains based integer programming // *Applied Soft Computing*. 2015. V. 31. P. 196-209.
7. Amit Kumar Yadav, S.S. Chandel. Solar energy potential assessment of western Himalayan Indian state of Himachal Pradesh using J48 algorithm of WEKA in ANN based prediction model // *Applied Soft Computing*. 2015. V. 75. P. 675-693.
8. Guiseppe Marco Tina, Salvina Gagliano. Probabilistic modelling of hybrid solar/wind power system with solar tracking system // *Renewable Energy*. 2011. V. 36. P. 1719-1727.
9. Ahmad Murtaza Ershad, Robert J. Brecha, Kevin Haliman. Analysis of solar photovoltaic and wind power potential in Afghanistan // *Renewable Energy*. 2016. V. 85. P. 445-453.

10. Manuel Castaneda, Antonio Cano, Francisco Jurado, Higinio Sanchez, Luis M. Fernandez. Sizing optimization, dynamic modeling and energy management strategies of a stand-alone PV/hydrogen/battery-based hybrid system // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2013. V. 38. P. 3830-3845.
11. A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtouen. Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system // *Energy*. 2011. V. 36. P. 1214-1222.
12. Wei Wu, Ya-Yan Zhou, Mu-Hsuan Lin, Jenn-Jiang Hwang. Modeling, design and analysis of a stand-alone hybrid power generation system using solar/urine // *Energy Conversion and Management*. 2013. V. 74. P. 344-352.
13. Wei Zhou, Chengzhi Lou, Zhongshi Li, Lin Lu, Hongxing Yang. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems // *Applied Energy* 2010. V. 87. P. 380-389.
14. Getachew Bekele, Gelma Boneya. Design of a Photovoltaic-Wind Hybrid Power Generation System for Ethiopian Remote Area // *Energy Procedia*. 2012. V. 14. P. 1760- 1765.
5. Gilles Notton, Said Diaf, Ludmil Stoyanov. Hybrid Photovoltaic/Wind Energy Systems for Remote Locations // *Energy Procedia*. 2011. V. 6. P. 666-677.
16. Jasmina Radosavljević, Amelija. Dordevic. Defining of the intensity of solar radiation on horizontal and oblique surfaces Earth // *Facta Universitatis*. 2001. V. 2. P. 77-86.
17. Cooper P.I. The absorption of radiation in solar stills // *Solar Energy*. 1969. V. 12. P. 333-346.
18. F. Kasten, Young, A. T., Revised optical air mass tables and approximation formula // *Applied Optics*. 1989. V. 28. P. 4735-4738.
19. Meinel A.B., Meinel M.P. *Applied solar energy* // Addison Wesley Publishing Co. 1976.
20. Jonas Allegrini, Kristina Orehounig, Georgios Mavromatidis, Florian Ruesch, Viktor Dorer, Ralph Evins. A review of modelling approaches and tools

for the simulation of district-scale energy systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. V. 52. P. 1391-1404.

21. Fang-Fang Li, Jun Qiu. Multi-objective optimization for integrated hydro– photovoltaic power system // *Applied Energy*. 2015.

22. Morteza Zare Oskouei, Ahmad Sadeghi Yazdankhad. Scenario-based stochastic optimal operation of wind, photovoltaic, pump-storage hybrid system in frequency- based pricing // *Energy Conversion and Management*. 2015. V. 105. P. 1105-1114.

23. M.K. Deshmukh, S.S. Deshmukh. Modeling of hybrid renewable energy systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. V. 12. P. 235-249.

24. Sajjad Haider Shami, Jameel Ahmad, Raheel Zafar, Muhammad Haris, Sajid Bashir. Evaluating wind energy potential in Pakistan's three provinces, with proposal for integration into national power grid // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. V. 53. P. 408-421.

25. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, Magno Luiz Vidotto, Rosana Krauss Niedzialkoski, Samuel Nelson Melegari de Souza, Luiz Inacio Chaves, Thiago Edwiges, Darlison Bentes dos Santos, Ivan Werncke. Sizing and simulation of a photovoltaic-wind energy system using batteries, applied for a small rural property located in the south of Brazil // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. V. 29. P. 151-157.

26. Esmail M.A. Mokheimer, Ahmed Z. Sahin, Abdullah Al-Sharafi, Ahmad I. Ali. Modeling and optimization of hybrid wind–solar-powered reverse osmosis water desalination system in Saudi Arabia // *Energy Conversion and Management*. 2013. V. 75. P. 86-97.

27. Aeidapu Mahesh, Kanwarjit Singh Sandhu. Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. V. 52. P. 1135-1147.