

Державний торговельно-економічний університет

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розробка інтерактивних програмних засобів прийняття рішень в задачах регулювання споживання енергоресурсів.»

Студентки 2 курсу, 3мз групи
спеціальності
122 «Комп'ютерні науки»

Орловська
Тетяна
Олександрівна

підпис студента

Науковий керівник
кандидат технічних наук,
доцент

Томашевська
Тетяна
Володимирівна

підпис керівника

Гарант освітньої програми
доктор фізико-математичних наук,
професор

Пурський Олег
Іванович

підпис керівника

Київ 2023

Державний торговельно-економічний університет

Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
Освітня програма «Комп'ютерні науки»

Зав. кафедри _____

Затверджую

Пурський О.І.
«22» грудня 2022р.

**Завдання
на випускну кваліфікаційну роботу студенту**

Орловської Тетяни Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

«Розробка інтерактивних програмних засобів прийняття рішень в задачах регулювання споживання енергоресурсів»

Затверджена наказом ректора від «20» грудня 2022 р. № 3550

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 24 листопада 2023 року

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи

Мета роботи: Метою дослідження є підвищення ефективності управління СЕПП шляхом розробки методів, моделей та алгоритмів оптимізації втрат електроенергії для СППР.

Об'єкт дослідження: підсистема управління енергозбереженням, зокрема оптимізація втрат електроенергії СППР, яка є частиною системи управління СЕПП.

Предмет дослідження: є методи, моделі та алгоритми оптимізації втрат електроенергії в СППР.

4. Перелік графічного матеріалу _____

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів, за якими здійснюється консультування:

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали)	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Томашевська Т.В.	22.12.2022 р.	22.12.2022 р.
2	Томашевська Т.В.	22.12.2022 р.	22.12.2022 р.
3	Томашевська Т.В.	22.12.2021 р.	22.12.2022 р.

6. Зміст випускного кваліфікаційної роботи (перелік питань за кожним розділом)

ВСТУП

РОЗДІЛ 1.ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ

1.1 Стан та загальні методологічні питання створення систем підтримки прийняття рішень в енергетиці

1.2 Значення систем підтримки прийняття рішень та основні вимоги до них

1.3 Поняття систем підтримки прийняття рішень

1.4 Особливості структури енергетичної галузі промислового підприємства

1.5 Спеціалізований графік системи електропостачання промислового підприємства

1.6 Аналіз методів пошуку оптимального рішення

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ

2.1 Загальні аспекти створення математичних моделей систем електропостачання промислових підприємств

2.2 Аналіз методів представлення спеціалізованого графа СЕПП

2.3 Розробка математичної моделі оптимізації втрат електроенергії в СЕППП

2.4 Методика вирішення задачі оптимізації втрат електроенергії в СЕППП

2.5 Модифікований метод гілок і кордонів

РОЗДІЛ 3.ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СППР ОПТИМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1 Основні вимоги до програмного забезпечення СППР

3.2 Структурно-функціональна схема СППР оптимізації енергозбереження в СЕППП

3.3 Основні алгоритми роботи СППР

3.3.1 Алгоритм обробки матриці шляхів

3.3.2 Алгоритм модифікованого методу гілок і кордонів

3.4 Розрахунок втрат електроенергії

3.4.1 Задача розрахунку втрат електроенергії під навантаженням

3.4.2 Характеристики графіків навантаження

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

7. Календарний план виконання роботи

№ Пор	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	
		За планом	фактично
1	2	3	4
1	<i>Вибір теми випускної кваліфікаційної роботи</i>	01.11.2022	01.11.2022
2	<i>Розробка та затвердження завдання на випускну кваліфікаційну роботу</i>	09.12.2022	09.12.2022
3	<i>Вступ</i>	01.05.2023	01.05.2023
4	<i>РОЗДІЛ 1. Загальні аспекти процесу прийняття рішень в енергетиці</i>	14.06.2023	14.06.2023
5	<i>Підготовка статті у збірник наукових статей магістрів</i>	20.06.2023	20.06.2023
6	<i>РОЗДІЛ 2. Математичні методи, моделі та інструментальні засоби для прийняття рішень в енергетиці</i>	08.09.2023	08.09.2023
7	<i>РОЗДІЛ 3. Програмна реалізація спр оптимізації втрат електроенергії</i>	20.10.2023	20.10.2023
8	<i>Висновки</i>	02.11.2023	02.11.2023
9	<i>Здача випускної кваліфікаційної роботи на кафедрі науковому керівнику</i>	07.11.2023	07.11.2023
10	<i>Попередній захист випускної кваліфікаційної роботи</i>	17.11.2023	17.11.2023
11	<i>Виправлення зауважень, зовнішнє рецензування випускної кваліфікаційної роботи</i>	22.11.2023	22.11.2023
12	<i>Представлення готової зшитої випускної кваліфікаційної роботи на кафедрі</i>	24.11.2023	24.11.2023
13	<i>Публічний захист випускної кваліфікаційної роботи</i>	За розкладом роботи ЕК	

8. Дата видачі завдання «22» грудня 2022 р.

9. Керівник випускного кваліфікаційного проекту Томашевська Т.В.

(прізвище, ініціали, підпис)

10. Гарант освітньої програми

(прізвище, ініціали, підпис)

Пурський О.І.

11. Завдання прийняв до виконання студент

Орловська Т.О.

(прізвище, ініціали, підпис)

Анотація

Проведено комплексне дослідження з метою підвищення ефективності управління системою електропостачання промислового підприємства. Розроблено методи, моделі та алгоритми системи підтримки прийняття рішень, спрямованої на оптимізацію втрат електроенергії для енергетичного сектору. Теоретично обґрунтовано основні положення щодо створення та впровадження ефективного енергетичного моніторингу для промислових підприємств. Запропоновано концепцію інформаційної системи оцінки показників розвитку енергетики та розроблено методичку автоматизованого розрахунку комплексних оцінок втрат електроенергії. Результати дослідження сприятимуть підвищенню надійності та ефективності електропостачання промислових об'єктів.

Ключові слова: ПП – промислове підприємство, СЕПП-система енергоживлення промислового підприємства, СППР-система підтримки прийняття рішень, математична модель, інтегральні показники.

A comprehensive study was conducted in order to increase the efficiency of management of the power supply system of an industrial enterprise. The methods, models and algorithms of the decision support system aimed at the optimization of electricity losses for the energy sector have been developed. The main provisions regarding the creation and implementation of effective energy monitoring for industrial enterprises are theoretically substantiated. The concept of an information system for assessing indicators of energy development is proposed and a methodology for automated calculation of complex estimates of electricity losses is developed. The results of the research will contribute to increasing the reliability and efficiency of power supply to industrial facilities.

Keywords: PP - industrial enterprise, SEPP-energy supply system of an industrial enterprise, SPPR-decision-making support system, mathematical model.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1.ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ	12
1.1 Стан та загальні методологічні питання створення систем підтримки прийняття рішень в енергетиці	12
1.2 Значення систем підтримки прийняття рішень та основні вимоги до них	12
1.3 Поняття систем підтримки прийняття рішень.....	14
1.4 Особливості структури енергетичної галузі промислового підприємства	16
1.5 Спеціалізований графік системи електропостачання промислового підприємства	23
1.6 Аналіз методів пошуку оптимального рішення.....	27
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ	34
2.1 Загальні аспекти створення математичних моделей систем електропостачання промислових підприємств	34
2.2 Аналіз методів представлення спеціалізованого графа СЕПП	35
2.3 Розробка математичної моделі оптимізації втрат електроенергії в СЕПП	45
2.4 Методика вирішення задачі оптимізації втрат електроенергії в СЕПП	48
2.5 Модифікований метод гілок кордонів.....	62

РОЗДІЛ 3.ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СППР ОПТИЗАЦІЇ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	65
3.1 Основні вимоги до програмного забезпечення СППР	65
3.2 Структурно-функціональна схема СППР оптимізації енергозбереження в СЕППП	71
3.3 Основні алгоритми роботи СППР	74
3.3.1 Алгоритм обробки матриці шляхів	74
3.3.2 Алгоритм модифікованого методу гілок і кордонів	78
3.4 Розрахунок втрат електроенергії	81
3.4.1 Задача розрахунку втрат електроенергії під навантаженням.....	81
3.4.2 Характеристики графіків навантаження.....	83
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
ДОДАТОК	89

SCIENTIA DIFFICILIS SED FRUCTUOSA

ВСТУП

Актуальність теми дипломної роботи. За останні десятиліття зростаюча увага до питань сталого розвитку та екологічної відповідальності дозволяє зрозуміти, що ефективне управління споживанням енергоресурсів стає важливим етапом на шляху до створення більш енергоефективного та екологічно безпечного суспільства. Розробка інтерактивних програмних засобів прийняття рішень в даній сфері є необхідною, оскільки вона може сприяти ефективному використанню енергоресурсів на всіх рівнях — від домашніх господарств до великих промислових підприємств. Ефективне управління промисловими підприємствами (ПП) як складними техніко-економічними системами залежить від узгодженої роботи всіх виробничих підсистем, що володіють власними цілеоптимізуючими функціями. СЕПП як складна інформаційно-технологічна система описується N -мірним вектором локальних критеріїв управління, що відповідають типовим завданням СЕПП. У цій роботі показники, відповідні підзадачу оптимізації втрат електроенергії, вибираються з безлічі контрольних показників СЕПП наприклад, надійність електропостачання, постачання електроенергії у необхідному кількості і якості, зниження витрат у системі тощо. буд.).

Зважаючи на складність СЕПП для управління ними, повинен використовуватися ієрархічний або децентралізований принцип. Відповідно до цього принципу, загальне завдання управління СЕПП має бути поділено на низку підзавдань, кожна з яких має вирішуватись системою підтримки прийняття рішень (СППР). У цій роботі, із підзадач управління СЕПП було обрано підзавдання, що керує оптимізацією втрат електроенергії. У цій статті термін "оптимізація втрат" використовується у наступній скороченій формі. Тобто оптимізація системи електропостачання промислового підприємства з метою зниження втрат з урахуванням обсягу фінансування заходів щодо енергоефективності та енергозбереження. Таким чином, існує об'єктивне науково-технічне завдання щодо розробки методів, моделей та алгоритмів СППР з оптимізованого управління втратами електроенергії в СЕПП.

Об'єктом дослідження є підсистема управління енергозбереженням, зокрема оптимізація втрат електроенергії СППР, яка є частиною системи управління СЕПП.

Предметом дослідження - є методи, моделі та алгоритми оптимізації втрат електроенергії в СППР.

Мета та завдання дослідження Метою дослідження є підвищення ефективності управління СЕПП шляхом розробки методів, моделей та алгоритмів оптимізації втрат електроенергії для СППР.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні **завдання**:

1. Аналіз моделей та методів ідентифікації та управління СЕПП, існуючих СППР та методів вирішення оптимізаційної задачі для отримання керуючих рішень для СЕПП стосовно задачі оптимізації втрат електроенергії; дослідження існуючих методів та методик визначення втрат електроенергії в СЕПП; розробка моделі ідентифікації та управління СЕПП у вигляді графів та матриць шляхів; розробка моделі ідентифікації та управління СЕПП стосовно задачі оптимізації втрат електроенергії.
2. Розробка описових моделей СЕПП як спеціальних графів і матриць шляхів як методу представлення цього графу.
3. Розробка методики вибору оптимального рішення з урахуванням модифікованої реалізації методу гілок і кордонів.
4. Розробка математичних моделей оптимізації втрат потужності.
5. розробка структурних та функціональних схем СППР, що оптимізують втрати потужності в СЕПП.

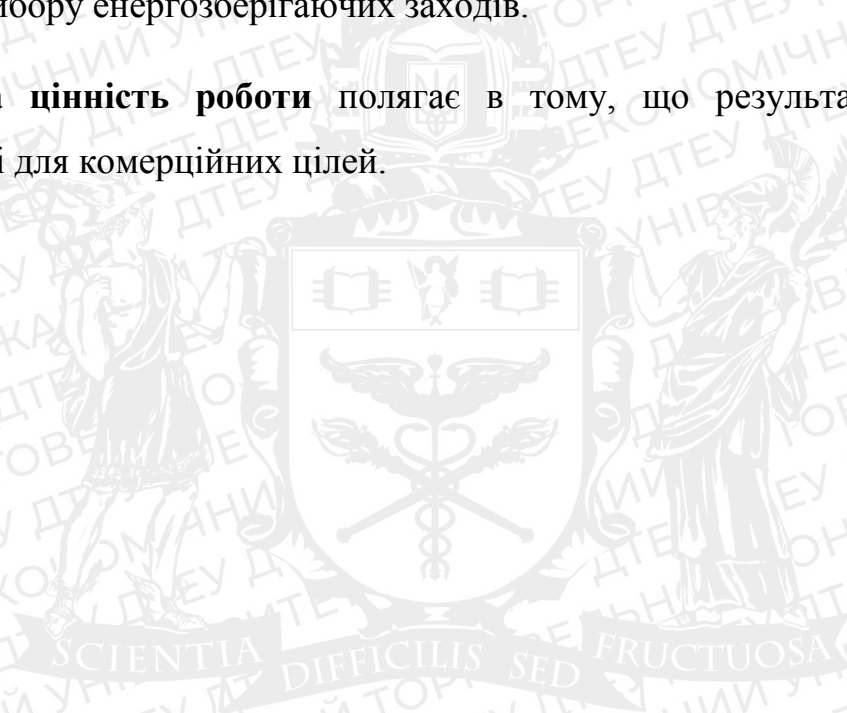
Наукова новизна: 1. Розроблено математичну модель оптимізації енергозбереження в системі електропостачання промислового підприємства на

основі багатокритеріальних оцінок, що поєднує в собі методики альтернативного вибору варіантів з деякої множини рішень та пошуку оптимального варіанту.

2. Розроблено модифікацію методу гілок та кордонів, що має меншу обчислювальну складність та полегшує підготовку вихідних даних за рахунок здійснення неповного перебору варіантів.

3. Запропоновано та обґрунтовано використання методу аналізу ієрархій (далі МАІ) для вибору енергозберігаючих заходів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що результати можуть бути використані для комерційних цілей.



РОЗДІЛ 1.

ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ

1.1 Стан та загальні методологічні питання створення систем підтримки прийняття рішень в енергетиці

Проблема створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) в енергетиці є частиною більш загальної проблеми, пов'язаної з експертним прийняттям рішень у галузі управління та контролю у промисловості та державному секторі. Чим серйознішими є наслідки рішення, тим більша відповідальність експерта (особи, яка приймає рішення,); а в наш час, коли необхідно обробити та зрозуміти великі обсяги інформації, прийняття обґрунтованих рішень стає ще важливішим. Термін «система підтримки прийняття рішень» виник у 1970-80-х і на початку 90-х. Згодом було розроблено безліч визначень СППР. У загальному вигляді СППР можна як інформаційну технологію, використовувану з метою оцінки ефективності тих чи інших варіантів рішення. Розробка інформаційних додатків і технологій в даний час стала широким завданням, яке вирішується в різних галузях управління. Поява нових інформаційних технологій, які, здається, спрямовані на полегшення прийняття рішень, висуває додаткові вимоги до складу та якості необхідного комп'ютерного обладнання, а також до підготовки фахівців. Крім того, виявляються різні аспекти проблеми: психологічні, змістовні, математичні, методологічні, інструментальні і т. д., повний розгляд яких, звичайно, бажано, але дуже обмежено в рамках роботи, що здійснити. Розглянемо найважливіші з них, зосередивши увагу на загальних методологічних питаннях, з якими стикаються фахівці у галузі енергетичних досліджень та управління.

1.2 Значення систем підтримки прийняття рішень та основні вимоги до них

У ринковій економіці для прийняття позитивних управлінських рішень менеджери всіх рівнів повинні мати можливість швидко аналізувати стан окремих

підрозділів, або всього підприємства. Передові інформаційні технології покликані вирішити цю проблему, надаючи сучасні методи отримання інформації з корпоративних джерел, її обробки та візуального подання особам, які приймають рішення. Розуміючи, навіщо потрібні загальні інструменти для аналізу даних доступу та звітності, ситуація сьогодні аналогічна до ситуації на ринку систем управління базами даних (СУБД) 15-20 років тому. У той час були розроблені загальні уявлення про те, які можливості необхідні серверу бази даних для задоволення загальних потреб зберігання та обробки даних, і ці можливості були втілені в СУБД загального призначення, що не спеціалізована в жодній галузі знань. Поява потужних систем управління базами даних загального призначення дає можливість використовувати готові СУБД відомих виробників без необхідності щоразу наново розробляти систему зберігання інформації. Всі зусилля можуть бути спрямовані безпосередньо на розробку програм, призначених для вирішення конкретних завдань промислових підприємств. В даний час існує чітке розуміння загального кола завдань, що виникають при організації аналітичного доступу до даних, накопичених у різних інформаційних системах. Перша та головна вимога – доступ до даних на мові кінцевого користувача, яка в більшості випадків не володіє мовою програмування. Можна створити безліч спеціалізованих програм, кожна з яких відповідає на певний тип запиту, але неможливо заздалегідь передбачити весь спектр запитів, які потрібні користувачам. Отже, загальний інструмент пошуку інформації має або дозволяти дуже швидко писати такі додатки, або, ще краще, дозволяти користувачеві самостійно генерувати будь-який запит, тобто він повинен використовувати мову зі знайомими термінами предметної галузі (бізнес-термінологією), а не конкретну мову програмування. Використання мови ділової термінології означає, що фізична структура та метод зберігання даних приховані від кінцевого користувача. Користувачеві не обов'язково знати ці деталі. Такий підхід реалізується шляхом створення шару, що називається семантичним. Семантичний шар визначає спосіб вилучення з джерела даних, відповідних кожному бізнес-терміну. Робота в інтуїтивно зрозумілому середовищі та використання звичної

термінології підвищує ефективність управління за рахунок розширення кола осіб, які можуть самостійно спілкуватися із системами підтримки прийняття рішень та отримувати достовірні дані, а також за рахунок скорочення тимчасових витрат на перетворення інформації у прийнятну для сприйняття форму та доведення її до осіб, які ухвалюють рішення. При цьому найкращі фахівці з інформаційних технологій зможуть зосередитися на творчій роботі, а не на аналізі та підготовці звітів для керівництва. Однак забезпечення доступності даних для широкого кола користувачів – це ще одна проблема. Інформація, яка добре організована та доступна практично всім користувачам компанії, може бути легше використана не за призначенням або вкрадена. Її можна вкрати. Це означає, що інформаційні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) потребують добре опрацьованих засобів управління, що розмежовують права користувачів як щодо доступу до даних, так і для доступу до функцій. В ідеалі адміністрування має бути винесене до окремої підсистеми. Якщо адміністрування пов'язане з семантичним шаром, шари доведеться дублювати для кожного користувача або групи користувачів. Семантичний шар також необхідно коригувати при зміні структури даних ресурсу або додаванні нових типів інформації. Рішення - У системі має бути загальний репозиторій, у якому зберігається як семантичний шар, так і дозволи користувачів (логіни) на об'єкти семантичного шару. Для одноманітності в репозиторії також можуть зберігатися дозволи користувачів доступні функції. Таким чином, керування користувачами може здійснюватися незалежно від того, на якому комп'ютері вони працюють на даний момент.

1.3 Поняття систем підтримки прийняття рішень

Визначимо ІС як сукупність взаємозалежних інформаційних систем, систем моделювання та експертних (інтелектуальних) систем (рис. 1.1). Під інформаційною системою (ІВ) ми розуміємо базу даних (або сукупність баз даних), створену з урахуванням універсальної СБД і містить фактичну інформацію, необхідну прийняття рішень. Системи моделювання (МС) містять набір математичних моделей підтримки прийняття рішень та у принципі

реалізуються у межах пакетів прикладних програм чи окремих програмних модулів з допомогою баз даних (інформаційних систем).

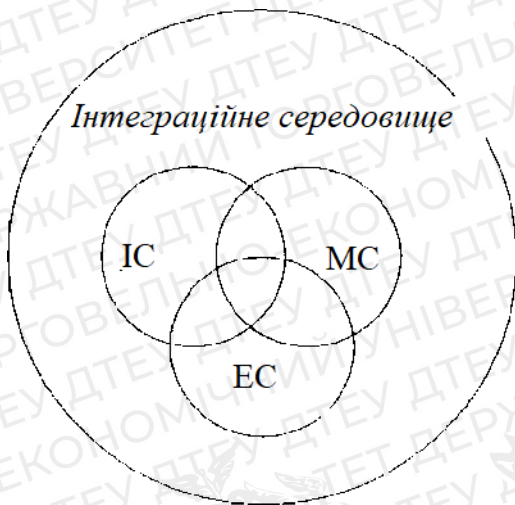


Рис 1.3 Узагальнена структура системи підтримки ухвалення рішень.

Експертні (інтелектуальні) системи (ЕС) є системами, заснованими на знаннях, і передбачають створення бази знань, що підтримуватиме відповідні логічні та лінгвістичні моделі, що реалізують евристичні алгоритми прийняття рішень. При генерації результатів інтелектуальні системи можуть включати факти з баз даних, так і алгоритми (обчислювальні процедури) із систем моделювання. Насправді для підтримки прийняття рішень часто використовується одна з цих систем (або одна відіграє провідну роль, а інша - допоміжну). Це особливо характерно для так званих гібридних експертних систем, в яких експертна система є ядром, що при необхідності з'єднує обчислювальні процедури і набори даних. Знання, які мають бути закладені в експертну систему, можуть бути визначені у різний спосіб. Наприклад, вони можуть бути виражені у вигляді набору правил. Правила містять набір припущень та висновків, причому результати одних правил можуть використовуватись як припущення для інших правил. При вирішенні поставленого завдання експертна система автоматично будує дерево висновків. База знань системи є набором правил наступного виду IF: <список передумов TO: <список висновків>. Список припущень та результатів складається з виразів у вигляді <об'єкт> = <значення>. Передбачається, кожен об'єкт має фіксоване число різних значень. Така експертна система реалізується у списковій структурі даних.

Елементи списку називаються вузлами та містять поля, в які вводиться інформація про об'єкт. Одне з полів служить показником інший зв'язаний вузол списку. Останній вузол вказує на символ NIL, який означає, що список вузлів не існує. З іншого боку, кожен вузол списку має другий показник, визначальний початок списку значень, що з ім'ям об'єкта. Цей внутрішній список називається списком значень об'єкта. Усі дані у системі представлені як таблиць. Механізм міркувань експертної системи є рекурсивною програмою, що використовує принцип метафоричних міркувань. Суть цього принципу полягає в наступному: вибирається гіпотеза та аналізуються її передумови шляхом побудови зворотного дерева умовиводів. Якщо ця гіпотеза не підтверджується, то вибирається наступна гіпотеза, і процес повторюється до тих пір, поки не буде підтверджено наступну гіпотезу або не вичерпані всі гіпотези. Однак при вирішенні більшості проблем дослідження та управління енергетикою, що вимагають створення великих баз даних та складних прикладних програм, підхід, що базується на цьому принципі, не виправданий. Необхідно об'єднати дві рівноправні підсистеми (інформаційну, моделюючу та інтелектуальну), що зазвичай робиться у спеціальній оболонці чи інтегрованому середовищі (рис. 1.1). Слід зазначити, що наведене вище визначення СППР є узагальненням, оскільки за більш детальним розгляді СППР доцільно включати графічні підсистеми (графічні, і когнітивні ілюстрації), картографічні інтерфейси (геоінформаційні системи) Це ще більше ускладнює питання інтеграції компонентів СППР, але в цілому вони можуть бути включені в конфігурацію основних систем (наприклад, графічна в конфігурацію інформаційних систем, що використовують засоби СУБД, когнітивна графіка в конфігурацію інтелектуальних систем, картографічний інтерфейс конфігурації систем моделювання, для інтерпретації результатів експериментів використовуються обчислювальні електронні карти)

1.4 Особливості структури енергетичної галузі промислового підприємства

Ефективне управління промисловими підприємствами (ПП) як складними техніко-економічними системами залежить від узгодженої роботи всіх

виробничих підсистем з відповідною оптимізацією функцій. Сьогодні збільшення споживання електроенергії та зростання цін на енергоносії зумовлюють необхідність заснувати господарську діяльність підприємств на масовому впровадженні ресурсозберігаючих технологій. Управління енергогосподарством підприємства має безліч функцій та завдань, однією з яких є оптимізація функціонування системи електропостачання та зниження величини втрат електроенергії у системі електропостачання. Елементи системи електропостачання. Ця мета може бути досягнута різними способами, але у загальному вигляді модель розв'язання даної задачі представлена наступною схемою (рис. 1.4).

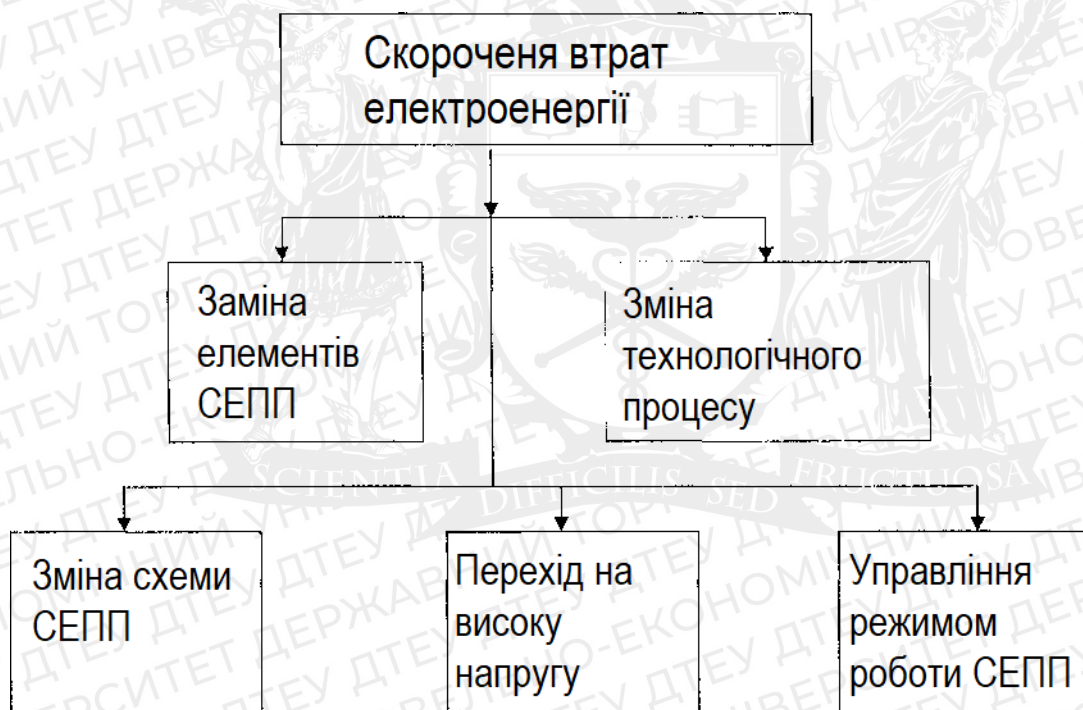


Рис.1.4: Можливі варіанти зниження втрат електроенергії

Після вивчення системи підтримки прийняття рішень стосовно електроенергетики розглянемо модель управління енергоспоживанням на промислових підприємствах, встановимо організаційну структуру управління та на її основі побудуємо структуру управління втратами електроенергії та розглянемо способи енергозбереження. Загалом кожна із запропонованих стратегій (рис. 1.4) призведе до зниження втрат електроенергії. Однак очевидно, що їхня реалізація вимагатиме різних витрат і дасть різні результати. З погляду управління, проблема пов'язана із

системами, які не укладаються однозначно в базовий тип організаційної структури через складність зв'язків та залежностей між елементами та залежних відносин. Знання та концептуальні моделі необхідно будувати, обґрунтовувати і надалі обробляти. Інформаційна модель - образ та подання об'єкта управління; у цьому дослідженні об'єктом управління є система електропостачання промислової організації. У розглянутих нижче завданнях під інформаційною моделлю розуміється перелік показників (об'єктів управління і блоків управління) і зв'язків між ними.

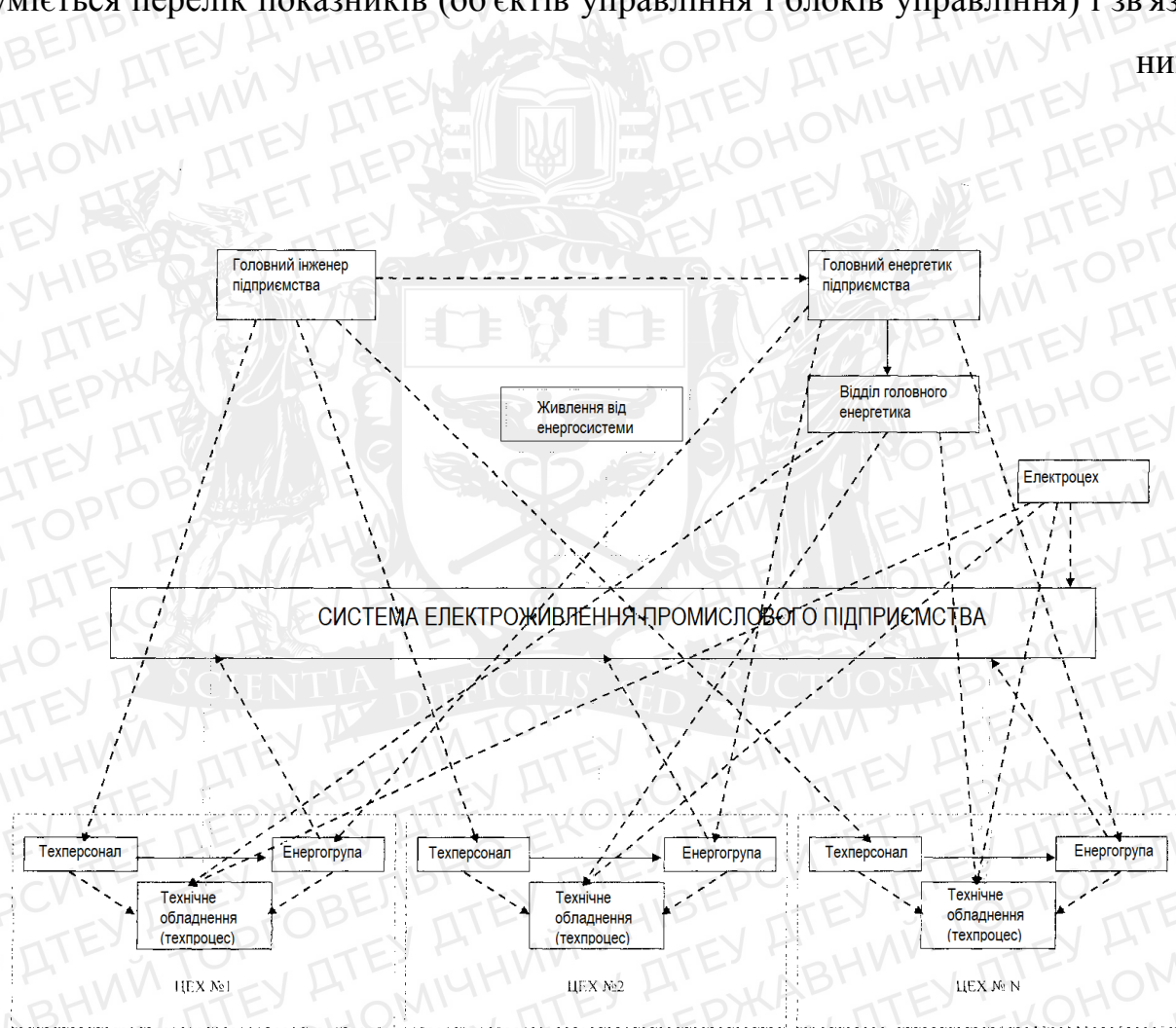
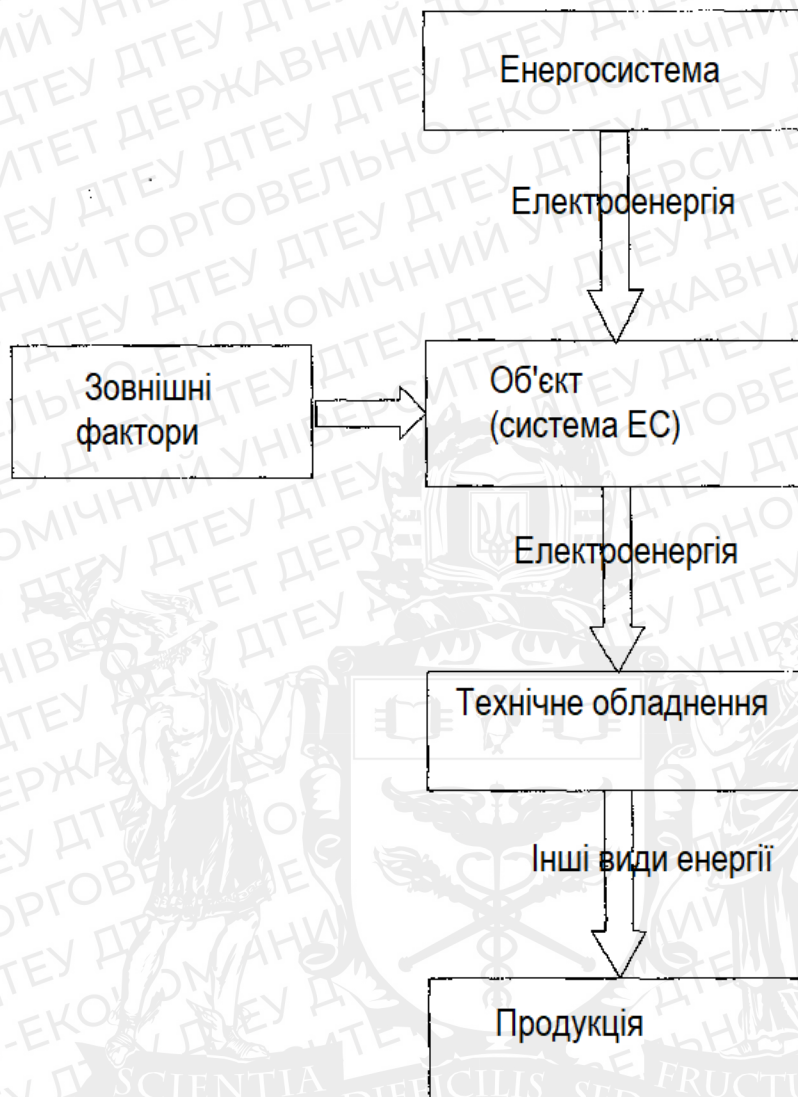


Рис 1.5. Структура Управління енергоживлення промислового підприємства

Структура управління системою електропостачання промислового підприємства представлена рис. 1.5 де показана залежність структурних підрозділів. Очевидно, що система управління системою електропостачання промислового підприємства є складною і характерною особливістю цієї системи є її множинна залежність від різних функціональних утворень. На основі отриманої інформації, з урахуванням

вже наявних відомостей та уявлень, у свідомості людини формується образ стану керованого об'єкта (подання реального об'єкта, відображене в інформаційній моделі). Цей образ часто називають оперативним чином чи концептуальною моделлю. Концептуальна модель - це змістовне уявлення основних параметрів об'єкта та основних зв'язків між цими параметрами. Об'єктом є система електропостачання промислової організації, а параметрами – основні елементи системи. У багатьох випадках модель є широкою та неточною, але вона дає користувачеві можливість пов'язати частини процесу в єдине ціле, "побачити ситуацію з першого погляду" та ефективно діяти. Зіставивши цю модель з цілями-образами, можна отримати завдання, які суттєво впливають на напрямок пошуку рішень. Таким чином, система процедурної підтримки повинна включати інформаційну модель складної програмної системи у вигляді, зручному для побудови та використання концептуальної моделі та розв'язання комплексу завдань (рис. 1.6).



Враховуючи показники, що відповідають завданню зниження втрат електроенергії на СЕПП у рамках обмежених коштів, що виділяються на енергозбереження як підсистему управління СЕПП, розробляючи сюжети, моделі та алгоритми для СППР щодо оптимізації втрат електроенергії, можна досягти вирішення поставленої мети щодо підвищення ефективності управління СЕПП. Для кращого розуміння СЕПП з урахуванням концептуальної моделі можна розробити інформаційну модель управління процесом оптимізації втрат електроенергії на промислових підприємствах (рис. 1.1.1.1). На рис. 1.7 схематично показаний шлях електроенергії від джерела електропостачання, наприклад, теплової електростанції або підстанції енергосистеми, до споживача .

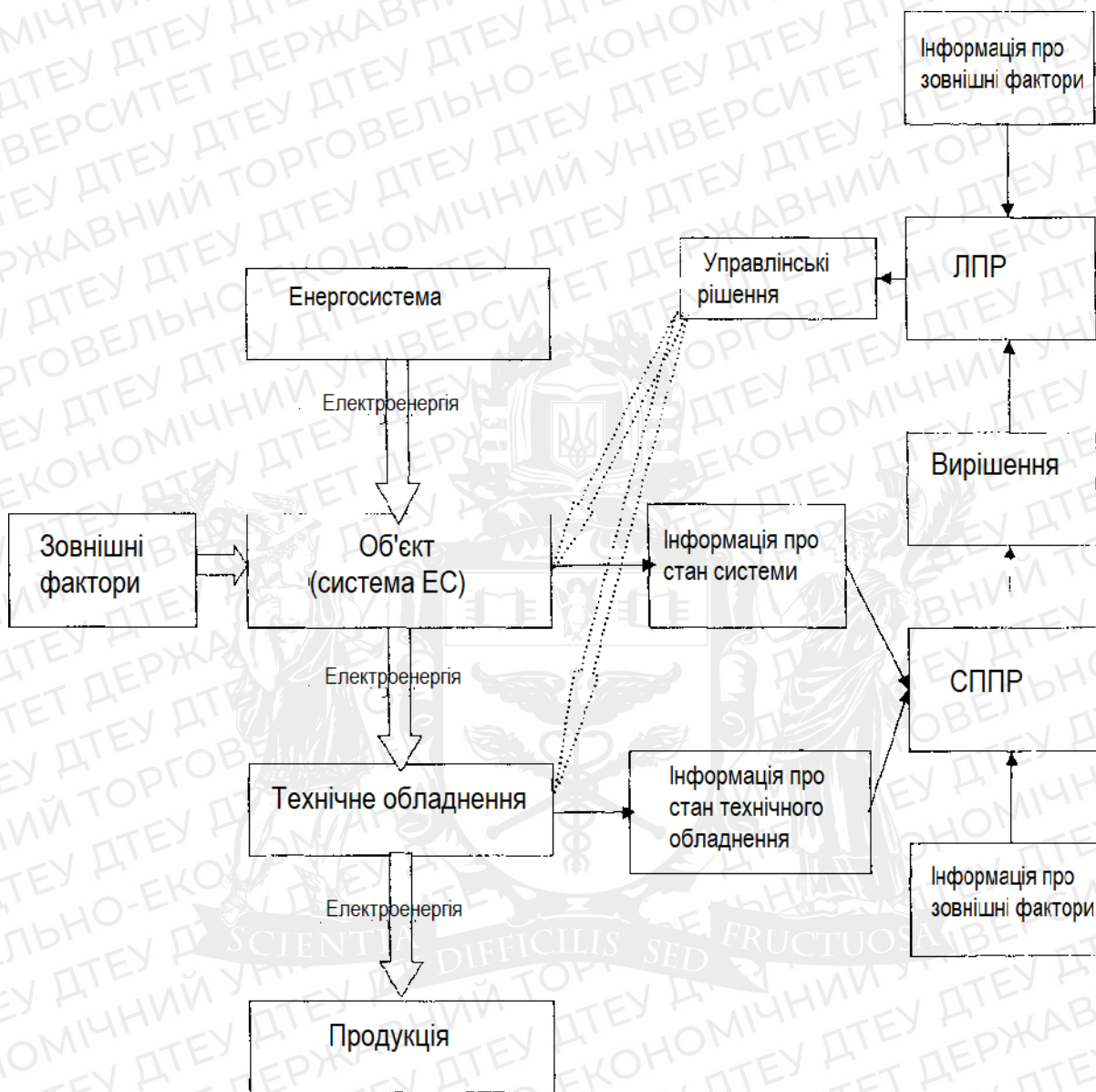


Рисунок 1.7 Інформаційна модель процесу оптимізації процесу управління

Втрати електроенергії на підприємствах від зовнішніх чинників, що впливають систему, відіграють важливу роль і тому повинні враховуватися при прийнятті рішень. Тут же показано взаємодію особи, яка приймає рішення, та системи підтримки прийняття рішень, що отримує інформацію про стан енергетичної системи та зовнішні фактори. Вирішення проблем управління енергозбереженням на підприємствах є комплексним завданням, що включає технічні, економічні та організаційні аспекти. Визначення енергоносія як одного з ресурсів, яким слід керувати так само, як і іншими виробничими ресурсами, - це

новий підхід до зниження енерговитрат. Хоча, з одного боку, зниження енергоспоживання дає економічний ефект, з іншого боку, воно практично завжди потребує додаткових капітальних вкладень та витрат інших матеріальних ресурсів. Тому при плануванні енергозбереження виникає проблема пошуку оптимального рішення за наявності об'єктивної функції для оцінки якості прийнятих рішень. Для знаходження x (де x – вектор рішень цільової функції) залежно від виду цільової функції та діапазону допустимих векторів рішень використовуються різні класи задач математичного програмування – лінійні, дискретні (зазвичай нонсенсові) та нелінійні. Більшість завдань пошуку оптимальних рішень під час управління складними техніко-економічними системами, зокрема системами електропостачання промислових підприємств, є нелінійними. Вирішення таких завдань дуже важко навіть при використанні сучасних математичних методів та обчислювальної техніки. Тому в практичних розрахунках найчастіше використовуються наближені методи, засновані на перетворенні вихідної нелінійної задачі на набір лінійних завдань. Тому лінійне програмування найчастіше використовується як наближений метод, заснований на перетворенні нелінійних завдань у лінійні. Тому лінійне програмування займає важливе місце серед методів пошуку оптимальних розв'язків задач управління. Однак завдання лінійного програмування з класичними формулюваннями (наприклад, транспортні завдання) менш придатні для пошуку оптимальних рішень щодо зниження енергоспоживання. Наприклад, розглянемо завдання оптимального розподілу електроенергії між джерелами та споживачами таким чином, щоб мінімізувати сумарні "транспортні" (передавальні) витрати. Така постановка може бути використана для енергосистем із декількома джерелами електроенергії, але типове промислове підприємство завжди отримує електроенергію від одного джерела. Крім того, більшість техніко-економічних рішень, що використовуються для зниження витрат енергії, мають дискретні значення. Наприклад, - кількість трансформаторів на підстанції (для контролю кількості паралельно працюючих трансформаторів при зміні навантаження) має бути цілим числом; - площа поперечного перерізу проводів та кабелів є

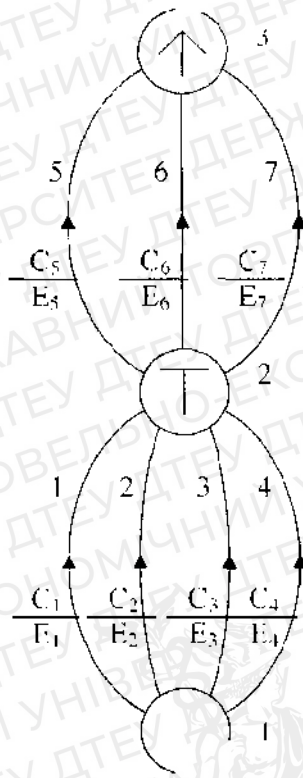
дискретною величиною; - Наявність або відсутність обмежувачів часу простою на технічному устаткуванні. Таким чином, пошук оптимальних рішень щодо зниження енергоспоживання (особливо втрат електроенергії) зводиться до завдань дискретного та цілісного програмування. Для вирішення цього завдання успішно застосовуються комбінаторні методи. Комбінаторні методи цілеспрямовано вибирають варіанти перебору з безлічі допустимих рішень, використовуючи різні методи (зокрема евристичні) зменшення перебору. Крім того, результати розв'язання задачі оптимізації втрат потужності. Крім того, результати розв'язання задачі оптимізації втрат потужності можуть бути подані у вигляді конкретного переліку організаційно-технічних заходів, обраних тим чи іншим способом із загальної кількості таких заходів. Самі ці заходи можуть бути представлені у вигляді об'єктів, що не допускають поділу на частини чи декомпозиції. Порівняно з класичними завданнями лінійного програмування, під час пошуку розв'язків задачі оптимізації втрат електроенергії необхідно враховувати наявність зв'язків між елементами СЕПП (системи електропостачання промислових підприємств). Це пояснюється тим, що різні організаційно-технічні заходи, що застосовуються на різних елементах (рівнях) СЕПП, впливають на зниження втрат електроенергії через різні значення еквівалентного опору на шляху від точки прийому (головної низької підстанції (ГПП) або центрального розподільчого пункту (ЦРП)) до елемента СЕПП, що розглядається.

1.5 Спеціалізована схема системи електропостачання промислового підприємства

Перешкоди Для пошуку розв'язання задачі оптимізації величини втрат електроенергії зручно використовувати спеціальну графіку, що дозволяє подати СЕПП у відповідному вигляді. Довга система спеціалізованих термінів, розроблена в теорії графів, дозволяє описувати складні та тонкі питання у простій та доступній формі. Особливо важливо візуально інтерпретувати поняття графа. Вершини графа відповідають станам системи або характерним точкам системи, а

дуги (гілки), що з'єднують ці вершини, - допустимим переходам з одного стану системи до іншого або елемент системи, відповідно. Дуги графа можуть мати наступні властивості, Наприклад, капітальні витрати, необхідні реалізації цих переходів чи перетворень (заміна чи ремонт елементів системи). Зрештою, пошук повинен знайти шлях від початкової вершини до цільової вершини, що відповідає обраним критеріям прийняття рішення. У наведеному прикладі визначення нуги між джерелом живлення та споживачем у пошуковому графі, побудованому для невеликої енергосистеми. Як зазначалося вище, система електропостачання промислового підприємства має жорсткішу структуру, оскільки потік електроенергії від джерела живлення до споживача чітко визначено. Тому для пошуку оптимального рішення щодо зниження енергоспоживання необхідно використовувати графи з більш складною структурою, де мають бути представлені і ціль (завдання), і оператор (перетворення). Такі графи застосовуються уявлення простору цілей. У цих графах вершини відповідають завданням даного рівня, а дуги – перетворенням та підзавданням завдання. За звичайних умов граф простору цілей має вигляд дерева. Коренева вершина графа відповідає рішенню вихідної задачі (мети), середня вершина - підзадачі (підцілі) і остання вершина - основний підзадачі (підцілі). У цьому графі існує два типи вершин: - тип "і" або кон'юнктивний тип - це коли розв'язання задачі, поставленої в даній вершині, безпосередньо впливає з ймовірностей вирішення всіх підзадач, визначених у дочірніх чи залежних вершинах; - тип "або" або кон'юнктивний тип - це такий, при якому рішення поставленого в ньому завдання виводиться з вирішення хоча б однієї підпроблеми, поставленої у вершині, розташованій нижче за нього. Графи цільового простору не дуже підходять для оптимізації втрат електроенергії у системах електропостачання промислових підприємств. Це з тим, що зниження втрат електроенергії має враховуватися в усіх елементах системи електропостачання, включаючи споживачів електроенергії, а заходи щодо зниження втрат можуть застосовуватися незалежно різних рівнях системи електропостачання. У цьому випадку немає сенсу вводити поняття розв'язного вузла графа (розв'язний, якщо всі або хоча б один з його підвузлів можна

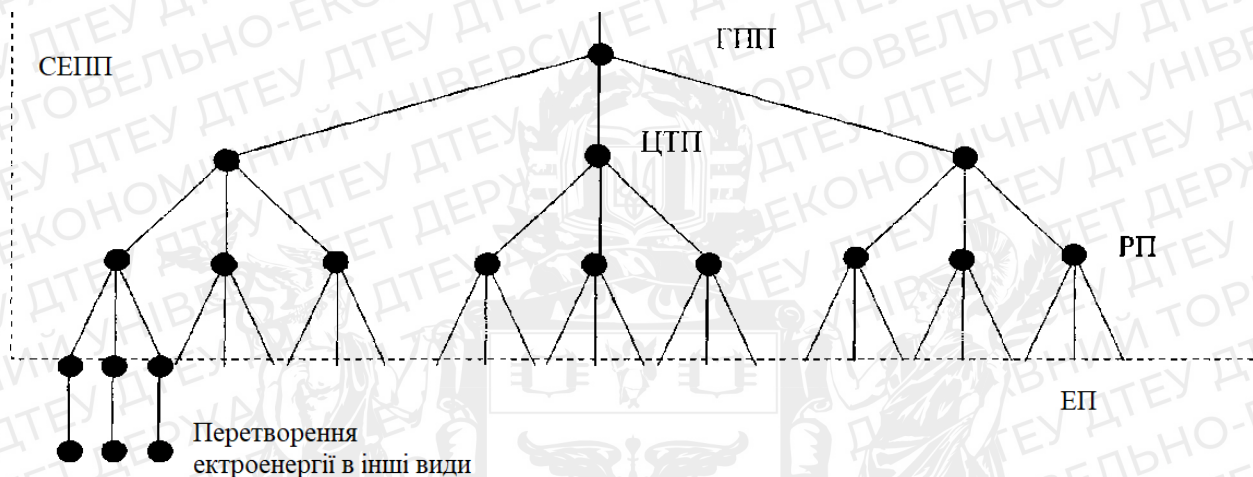
розв'язати). Тому для вирішення задачі оптимізації втрат потужності у СЕПП необхідно ввести спеціальний граф. Граф має таку структуру: - коренева точка графа відповідає джерелу електричної енергії; - нижні вузли графа являють собою споживачів електроенергії, що розглядаються у подвійній якості (два послідовні вузли), як електрообладнання, так і обладнання, що виробляє інші види енергії (світлову, теплову, механічну, хімічну тощо); - Середні вузли графа – характерні точки системи електропостачання, в яких відбувається поділ потоків електроенергії (підстанції, розподільні пристрої, розподільні шини тощо) - Дуги (гілки) графа, що з'єднують вершини, є технічні або організаційні заходи, що дозволяють економити електроенергію при передачі або перетворенні в певній частині схеми. Зазвичай таких дуг може бути кілька, і їх напрямок має бути протилежним напрямку потоку електроенергії. Крім технічних цілей, у вершинах графа повинні бути присутніми і організаційні цілі, що дозволяють визначити, скільки заходів (дуг графа) може бути використано для зниження споживання електроенергії споживачами електроенергії або для зниження втрат при передачі через елементи системи електропостачання, що розглядаються. Дуги графа повинні містити мати оцінку (вага) або кілька оцінок (ваг), що показують ефективність і вартість заходів, що моделюються. Для більш наочного уявлення побудованого графа розглянемо приклад створення графа, присвяченого лампочці (використовується лампа розжарювання) і лінії живлення, що з'єднує цю лампочку з освітлювальним щитом (рис. 1.8.). У цьому графі вершина 1 є вихід світлової енергії, а вершина 2 - лампу як приймач електроенергії, тобто. вершини 1 і 2 представляють лампу як електричний та освітлювальний пристрій. Вершина 3 представляє панель електричного освітлення, а відповідна лампа підключена до неї через лінію живлення (на схемі не показана).



Малюнок 1.8. Фрагмент спеціалізації графа.

Дуги 1, 2, 3 і 4 описують наступні заходи щодо заміни перетворення електричної енергії на світлову: - заміна ламп розжарювання на галогенні лампи (дуга I); - заміна ламп розжарювання на люмінесцентні лампи (дуга II); - заміна ламп розжарювання на дугові лампи (дуга 3); - Заміна ламп розжарювання на металогалогенні лампи (дуга 4). Кожен із цих заходів має свою вартість C (витрати на реалізацію заходу) та свій ефект E . Тільки один із розглянутих заходів є здійсненим, що позначено буквою "Т" у вершині 2. Дуги 5, 6 і 7 відповідають заходам, які можуть бути реалізовані для зниження втрат електроенергії в живильних лініях: - збільшити переріз живильної лінії (дуга 5); - Збільшення напруги живлення (дуга 6); і - Зменшення потужності, що споживається лампами (дуга 7). Вершина 3 позначає ймовірність вибору одного або кількох заходів з усієї дуги між вершиною 2 та вершиною 3, що позначається знаком '-D-'. Таким чином, використовуючи запропонований граф (або його частина), можна різними способами (з використанням різних заходів) перейти від ламп до освітлювальних панелей та визначити результуючі витрати C та економічний ефект E_x . Загалом

запропонований граф може бути використаний для моделювання системи електропостачання промислового підприємства із споживачами електроенергії та при плануванні енергозберігаючих заходів на заданий календарний період (місяць, квартал чи рік) розглядати досягнення комплексу таких заходів у межах виділених коштів для забезпечення максимального позитивного ефекту. Приклад графіка СЕПП для підприємства наведено на рис. 1.9.



Рішення щодо витрат та ефективності можуть бути визначені шляхом переміщення по гілках графа. Нижній рівень (технологічні альтернативи) - де вибирається один із кількох варіантів, і верхній рівень - де вибирається один або кілька варіантів. Інші типи Малюнок 1.9: Огляд графа ГПП – головна понижуюча підстанція, ЦТП– цехові трансформаторні підстанції, РП – розподільчі пункти (цехові), ЕП –приймачі електроенергії, СЕПП – система електропостачання промислового підприємства. і: 41

- Порядок вибору альтернатив можна подати так
- формування набору альтернатив (альтернативних варіантів);
 - встановлення критеріїв оцінки альтернатив;
 - оцінка альтернатив відповідно до критеріїв;
 - вибір найкращого варіанта, що видається системою як рекомендація.

1.6 Аналіз методів пошуку оптимального рішення

Для вирішення задачі оптимізації втрат потужності розглянемо різні методи пошуку та вибору найкращого рішення. Для аналізу заданого набору критеріїв та

вибору альтернативних рішень можна використовувати метод ієрархічного аналізу, запропонований Т. Саагі .. Цей метод зручний для прийняття компромісних рішень, заснованих як на формалізованих, так і на факторах, що важко формалізуються. Популярність цього методу пояснюється тим, що він відображає природне мислення осіб, які приймають рішення. Стикаючись з набором контрольованих та неконтрольованих факторів, що відображають складну ситуацію, експерт чи ЛПР поєднує їх у групи з розподілу певних характеристик між факторами. Повторюючи цей процес, групи, а точніше їх визначальні характеристики, можна розпізнати як елементи наступного рівня системи. Потім ці елементи можуть бути згруповані, цього разу відповідно до іншого набору характеристик для створення іншого елемента вищого рівня. І так далі, поки не буде досягнуто елемента або вузла. Вузол зазвичай зіставляється з метою процесу ухвалення рішення. МАІ полягає у декомпозиції проблеми на більш прості частини та елементи, а потім у використанні матричної алгебри для обробки набору експертних оцінок, що забезпечують прогнозування у парних порівняннях, які становлять основу МАІ. При попарному порівнянні елементи кожному рівні ієрархії, починаючи з другого, попарно порівнюються відповідно до їх впливом (вагою) загальні характеристики попереднього рівня. Зворотні відносини є ключем до раціонального об'єднання групових суджень. Так, якщо один об'єкт у чотири рази важчий за інший, то другий об'єкт повинен бути в $1/4$ разу важчим за перший. МАІ задовольняє наступні умови. По-перше, для реалізації попарних порівнянь об'єктів, а точніше, показників, заданих як якісно, так і кількісно, необхідно запровадити єдиний реляційний захід, придатний для різних додатків. По-друге, необхідні формальні методи виявлення неузгодженості суджень, причому як для індивідуальних порівнянь, а й у оцінки ступеня порушення узгодженості щодо оцінки аналізованого об'єкта загалом. Друга умова має забезпечувати основу для знаходження прийняттого компромісу між суперечливими судженнями експертів. По-третє, має існувати формальна процедура оцінки переваги перших варіантів вирішення проблеми в цілому, яка враховує згадані вище аспекти прийняття рішень. Існує безліч методів пошуку

оптимального рішення, але зупинимося на кількох, які давно та широко використовуються в енергетиці. Найбільш простим методом є пошук оптимального рішення на основі одного критерію. Одним із таких критеріїв є метод підрахунку всіх можливих варіантів. Однак навіть при високій швидкодії сучасних комп'ютерів цей метод вимагає великих обчислювальних витрат і недоцільний. Для складних завдань число схем, що перебираються, і кількість обчислювальних операцій можна зменшити, застосовуючи різні методи математичного програмування. Оптимізація в енергетиці часто проводиться за недостатньої інформації про вихідні дані. Тому можна розглядати наближене розв'язання задачі. Таке наближене рішення можна одержати з урахуванням наступних загальних підходів. Перший підхід полягає в тому, що оптимізаційне завдання ставиться у формі, що дозволяє застосувати добре розроблені математичні методи, що дають абсолютне рішення (глобальне оптимальне рішення). Недоліком цього є те, що формулювання умов оптимізації неминуче виявляється неточною, що призводить до помилок. Другий метод передбачає відсутність обмежень на формулювання умов оптимізації. Однак при застосуванні цього методу рішення зазвичай виходять у вигляді однієї або кількох локально оптимальних конфігурацій мережі, і не можна бути повністю впевненим у тому, що краще рішення, ніж знайдене, не може бути знайдено. До першого методу рішення відносяться такі методи, як лінійне програмування, що вимагає зведення цільової функції та обмежень до лінійного наближення, та різні методи нелінійного програмування, серед яких велике поширення набув метод гілок та кордонів. Другий спосіб рішення заснований на різних методах, у тому числі заснованих на методах обмеженого пошуку перетворень, що ґрунтуються на різних логічних принципах. До них відносяться методи послідовного видалення елементів всього графа мережі, методи перерахування сусідніх варіантів, методи оптимізації координат та ін. Для отримання більш надійних рішень ці методи можна застосовувати багаторазово, змінюючи порядок нумерації варіантів. Деякі з цих методів описані нижче. Для використання методів лінійного програмування,

тобто. зведення завдання вибору оптимального рішення до так званої транспортної задачі,

$$Z = \sum C_j |P_j|$$

Це можливо, якщо нелінійні залежності реальних витрат замінити лінійними залежностями через початок координат. Також можливе вирішення задачі за допомогою методу економічного потенціалу. Це дозволяє розпочати роботу із заданої опорної схеми та знайти розв'язання задачі за кінцеве число ітерацій. Загальна ітераційна схема цього методу виглядає так. При заданій опорній схемі кожен вузол зіставляється з числом, що називається резервним потенціалом. Резервні потенціали вибираються таким чином, щоб для будь-якої пари точок a і b , з'єднаних основною комунікацією опорної схеми, різниця між ними дорівнювала вартості (C_{ab}) передачі одиниці потужності між цими точками. Якщо різниця резервних потенціалів кожної пари пунктів a і b більша за C_{ab} , то дана опорна схема є оптимальним рішенням задачі. Якщо ні, то визначається метод отримання нової опорної схеми, пов'язаної із меншою вартістю. Після кількох ітерацій щоразу виходить покращення рішення, і процес закінчується знаходженням оптимального рішення. Ідея наступного методу - методу гілок і кордонів- полягає у розбитті всіх можливих деформацій рішення на послідовно непересічні групи, де безліч деформацій у кожній групі відповідає нижній оцінці значення об'єктивної функції, тобто. оцінки, яка не є явно більшою, ніж об'єктивна функція, та отримана більш простими методами. Потім групи розбиваються на дві групи, одна з яких містить варіанти схем, що містять гілка I, а інша варіанти, що не містять цієї гілки. Розглянемо тепер особливості цього методу: 1. 1. Отримане рішення є абсолютно оптимальним, але значення функції відрізняється від справжнього значення через помилку апроксимації у вартісній характеристиці. У принципі, ця помилка призводить до усунення оптимального рішення, як і у разі лінійної апроксимації. 2. кількість гілок, необхідні отримання рішення, залежить від порядку розгалуження. Наперед визначити оптимальний спосіб розгалуження дуже складно. 3. застосування методу обмежено зі

збільшенням розміру схеми, оскільки значно зростають необхідні обчислювальні зусилля і кількість схем, які потрібно зберігати. Методи економічного потенціалу та розгалуження характеризуються наступними загальними наближеннями. Заміна вихідного завдання з апроксимацією функції вартості на інше завдання, для якої є алгоритм, що призводить до абсолютно оптимального рішення. Однак у цьому випадку немає гарантії, що отримане рішення є оптимальним рішенням вихідного завдання через неминучі помилки апроксимації. У той самий час необхідність зміни фактичних показників спотворює вартісну оцінку перетворення та створює низку труднощів при практичному застосуванні результатів оптимізації. У зв'язку з цим стали вельми поширеними методи, які обов'язково є оптимальними, але дозволяють отримати адекватне рішення вихідної завдання. Ці методи ґрунтуються на пошуку логічно обмежених варіантів або застосуванні математичних методів (градієнтних, релаксаційних та ін.), що забезпечують локальні мінімуми для вихідних багатополіусних завдань. Однією з таких методів є метод послідовного видалення гілок. Концепція цього методу ось у чому. Визначається явно надмірна схема та розраховується її вартість. Почергово виділяються усі можливі гілки. Гілка, що дає найбільшу економію витрат, видаляється зі схеми. Цей процес повторюється до того часу, поки залишиться несуперечлива схема, у якій виключення будь-якої гілки не призводить до зниження вартості мережі. Цей алгоритм має такі недоліки. По-перше, оскільки гілки в оптимальній схемі можуть бути виключені на першому кроці, знайти оптимальну схему навіть для відносно простих випадків неможливо. По-друге, вона потребує великих обчислювальних витрат. Якщо відмовитися від переходу до найдешевшої схеми кожному кроці обчислень і переходити до першої знайденої дешевої схемою, то з допомогою алгоритму виключення гілок можна знайти безліч локально оптимальних рішень, причому далеко ще не кожне рішення можна поліпшити з допомогою цього алгоритму. Порядок виключення (перерахування) гілок визначає можливість отримання рішення. При ітераційному застосуванні алгоритму з різною нумерацією гілок схеми можна отримати кілька локально оптимальних схем, з яких може виникнути найдешевша (глобальний

оптимум). Однак для складних схем з обмеженою кількістю обчислень знайти глобально оптимальне рішення за допомогою цього алгоритму є малоімовірним. Метод перерахування сусідніх варіантів є удосконаленням попереднього, але передбачає складнішу процедуру пошуку і може дати кращі результати. До особливостей цього алгоритму належать: 1. кількість аналізованих варіантів, необхідні отримання оптимального рішення, залежить від порядку нумерації гілок. 2. алгоритм не гарантує отримання абсолютно оптимального рішення, а дає локально оптимальне рішення. Для підвищення достовірності результатів можна проводити багаторазові розрахунки з різним порядком розгалуження та різними схемами ініціалізації. Метод поординатної оптимізації, як і два попередні методи, дозволяє отримувати наближені рішення задачі про множинну граничну множину (локальний мінімум), не накладаючи обмежень на вигляд функції вартості. Метод включає такі етапи: 1) вибір системи змінних; 2) визначення допустимих початкових умов системи; 3) координатна оптимізація за кожною змінною, на яку шукається абсолютний мінімум, і фіксація значень інших змінних; 4) припинення оптимізації, коли мінімізована функція перестає бути меншою. У разі оптимізаційної задачі координатна оптимізація виконується в такий спосіб. Кожна гілка розрахункової схеми характеризується вектором станів, що стикуються, і функцією вартості, що відповідає кожному стану. Перед початком оптимізації з розрахункової схеми вибирається зв'язкова розімкнена мережа (дерево), стани якої задовольняють силовим струмам, що протікають по ній. До цієї мережі по черзі підключаються гілки, що не входять до дерева, і кожне з'єднання гілок утворює петлю. Оптимізація контурів провадиться послідовно. Це означає, що шукається оптимальний стан усіх гілок, які входять у цикл, у свій стан інших гілок залишається незмінним. У кожному циклі спочатку перевіряється нульовий стан гілки, а потім ненульовий. Після оптимізації контуру дерево змінюється таким чином, щоб у ньому не було гілок із нульовим станом. Цей процес повторюється всім контурів, після чого перевіряється зміна об'єктивної функції. Якщо зменшення об'єктивної функції перевищує задане значення, процес повторюється. В іншому випадку схема, отримана на останньому кроці,

розглядається як локально оптимальне рішення. Для отримання такої множини рішень випадковим чином змінюється порядок приєднання вихідного дерева і гілок, що не входять до нього, після чого весь розрахунок повторюється. Іншим методом є динамічне програмування. Це метод оптимізації, адаптований до господарської діяльності, у якому процес прийняття рішення може бути розбитий на окремі етапи (кроки). Динамічне програмування ґрунтується на принципі оптимальності, сформульованому Беллманом. Цей принцип та ідея включення даної оптимізаційної задачі до групи однотипних багатетапних завдань призводить до асимптотичного співвідношення щодо оптимального значення об'єктивної функції. Метод вирішення забезпечує послідовне отримання оптимального керування для вихідної оптимізаційної задачі. При короткому огляді методів пошуку оптимального рішення найбільший інтерес подальшого вивчення і вирішення поставленої завдання представляють такі методи: метод гілок та кордонів, метод динамічного програмування та метод аналізу ієрархій.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ

2.1 Загальні аспекти створення математичних моделей систем електропостачання промислових підприємств

Створення математичних моделей для СЕПП має дві основні цілі: 1) формально описати і наочно представити структуру та функціональні процеси систем електропостачання промислових підприємств; 2) уявити функціональні процеси у вигляді, що дозволяє проводити аналітичне дослідження систем. Неможливо розробити єдину методологію побудови математичних моделей будь-якої системи. Системи можуть бути статичними або динамічними, структурно керованими або програмно керованими, з фіксованою або змінною структурою, з фіксованою (жорсткою) або змінною (гнучкою) програмою управління. Залежно від впливу вхідних впливів та характеру внутрішнього стану системи можна розділити на безперервні та дискретні, лінійні та нелінійні, стаціонарні та нестаціонарні, детерміновані та стохастичні. Залежно від підходу, спрямованості, ступеня ієрархії та гранулярності, що розглядають СЕПП, дослідження СЕПП дають велику різноманітність моделей. Математичні моделі це формальний опис системи за допомогою абстрактної мови, зокрема, математичних співвідношень, що відображають процеси, якими функціонує система. Для побудови математичної моделі СЕПП може бути використаний будь-який математичний інструменти, такі як. алгебраїчне, диференціальне та інтегральне числення, теорія множин, теорія алгоритмів і т.д. Одним словом, вся математика призначена для складання та вивчення моделей об'єктів та процесів. Вибір типу моделі визначається характеристиками системи, що вивчається, і метою моделювання, оскільки вивчення однієї моделі може дати відповіді на певне коло питань. Для отримання іншої інформації можуть знадобитися моделі інших типів. Цілі моделювання та характеристики вихідної моделі в кінцевому підсумку визначають багато інших особливостей моделі та методології дослідження. Наприклад, математичні моделі можна класифікувати на детерміновані та

стохастичні. По-перше, встановлюється чітка відповідність між параметрами і властивостями моделі, а по-друге - між статистичними значеннями цих величин. Моделювання системи електропостачання промислового підприємства можливе у різний спосіб, і вибір того чи іншого виду моделювання залежить від ступеня необхідності обліку випадкових факторів (наприклад, впливу навколишнього середовища, зміни перетоків потужності в енергосистемі). Залежно від методу дослідження математичних моделей розрізняють аналітичні, чисельні та імітаційні моделі. Аналітична модель - це формалізоване опис системи, у якому розв'язання рівнянь можна одержати явно за допомогою відомих математичних засобів. Чисельні моделі характеризуються залежностями, що допускають лише часткове чисельне рішення за певних початкових умов та кількісних параметрів моделі. Імітаційна модель - це опис системи та зовнішніх впливів, алгоритм функціонування системи або набір правил зміни стану системи під впливом зовнішніх та внутрішніх збурень. Ці алгоритми або правила дають можливість використовувати існуючі методи математичного аналізу та чисельного рішення, а також імітувати процеси функціонування системи та вимірювати властивості, що цікавлять. Імітаційні моделі можуть бути створені для більш широкого кола об'єктів та процесів, ніж аналітичні чи чисельні моделі. Як правило, для реалізації імітаційної моделі використовується обчислювальна система, тому як спосіб формального опису імітаційної моделі часто застосовується загальна або спеціальна алгоритмічна мова. Електроенергетична система (ЕЕС) як інфраструктурний елемент національної економіки має різноманітні взаємозв'язки з виробничими галузями та істотно впливає на умови життя населення, стан навколишнього природного середовища тощо. Прийняття рішень щодо розвитку ЕПС потребує всебічного обліку та узгодження вимог усіх зацікавлених у реалізації рішення сторін. Це потрібно забезпечити.

2.2. Аналіз подання спеціальних графіків СЕПП

Графи широко використовуються як ефективний засіб проектування різних інформаційних технологій, і вибір методу представлення графів має велике

значення. Відомі чотири основні методи представлення графів : матриця суміжності, матриця інцидентності, список суміжності та список дуг, Ці методи можуть бути використані для обробки всіх видів графів, але їхня обробка на машині вимагає великих витрат часу та ресурсів. Для розробки методу, що спрощує комп'ютерну обробку графів СЕПП, ми використовуємо відсутність замкнених контурів. у графі. Це ілюструється секціюванням графа СЕПП (відключене становище секційних перемикачів): Робота з графами СЕПП переважно спрямовано пошук шляху від конкретного вузла (вузла схеми) до провідному вузлу. Це необхідно для вирішення низки завдань, наприклад, для знаходження величини еквівалентного опору та, відповідно, зниження втрат електроенергії при реалізації енергозберігаючих заходів. На основі розглянутого графа СЕПП пропонується метод побудови шляху від вершини до першого вузла шляхом подання цього графа у вигляді спеціальної матриці. Цю матрицю можна назвати матрицею шляхів Р або якщо в неї ввести значення опорів ділянок електричної мережі, матрицею значень опорів. У цьому методі знаходження шляху від даного вузла ланцюга до першого вузла ланцюга необхідно обробити лише один рядок матриці. Розглянемо організацію матриці шляхів з прикладу розіркнутого графа ділянки системи електропостачання, показаного на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Приклад розіркнутого графа

Перед створенням матриці вершинам і ребрам графа надаються номери таким чином: - першій (кореневій) вершині розглянутого відкритого графа або дерева присвоюється номер 0, решта вершин нумерується в порядку рівнів (шарів); -

ребра (гілки) нумеруються у такому порядку: перший номер присвоюється гілки, що з'єднує вузли 0 та 1; всі інші гілки нумеруються у порядку номерів вузлів: - Ребрам (гілкам) присвоюється напрямок, що відповідає напрямку потоку потужності схеми СЕПП, що розглядається. Після цих операцій виходить очевидний орієнтаційний граф (орієнтаційне дерево), з якого формується матриця шляхів. p – кількість вершин, q – кількість ребер. Відомо, що для спрямованого дерева справедливе співвідношення $q = p - 1$ між числом вершин і числом ребер. Перший рядок і перший стовпець служать для зберігання інформації про кількість вершин (вузлів схеми) та ребер (гілок схеми). Перший стовпець містить кількість вершин схеми (від 0 до p), а перший рядок - кількість гілок (від 1 до k , $k = p - 1$). Інформація про шлях міститься в решті матриці розміру $k \times k$ і вводиться рядок за рядком у наступному порядку: - Коли вибрано вузол i (i приймає значення від 1 до p), йому відповідає рядок $i + 1$; - У цьому рядку, починаючи з другого елемента ліворуч і до кінця рядка, виконуються такі дії. Якщо гілка j (j приймає значення від 1 до k) входить у шлях від першого вузла до вузла, що розглядається, то елементу матриці (i, j) присвоюється значення 1, інакше 0. Наприклад, на рис. 2.1 третій рядок заповнений для другого вузла графа або дерева. Шлях від порожнього вузла до другого вузла проходить через гілки 1 і 2. З урахуванням

2	1	1	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

цього цей рядок має такий вигляд де 2 – номер вузла (службова інформація); 1 - кількість гілок, включених у шлях; 0 - кількість гілок, не включених у дорогу. Повна матриця шляхів P дерева, що розглядається (у припущенні, що опір усіх гілок одиниця)

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 6 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 7 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

У пам'яті комп'ютера ця матриця може зберігатися без службової інформації (перший рядок і перший стовпець відкидаються), тобто у розмірності $k \times k$ або скороченому вигляді. Щоб знайти шлях від заданої вершини p до кореневої вершини, використовується наступна послідовність операцій: - Знайти рядок p матриці (або рядок $p+1$ у повній матриці); - визначити кількість ненульових елементів у цьому рядку (виключаючи перший елемент у рядку повної матриці); - Визначити кількість ненульових елементів у цьому рядку (виключаючи перший елемент у рядку повної матриці). - Знаходиться кількість ненульових елементів у цьому рядку, що відповідає кількості гілок у дорозі. Таким чином, використовуючи дану матрицю шляхів, можна швидко визначити шлях між заданою вершиною і кореневою вершиною, причому для отримання результату потрібно лише один рядок. Для цього використовується допоміжний масив, що містить номери гілок та відповідні їм опори, або підсумовується, якщо опори зберігаються в матриці. Розглянемо особливості запропонованої графічної (деревоподібної) нотації та те, як знайти шлях між заданою вершиною та кореневою вершиною. Відомо, що у орієнтованому дереві (орграфі) кожної вершини існує шлях, який є найкоротшим. Існують різні алгоритми пошуку найкоротшого шляху: алгоритм Уоршалла з використанням матриці терезів (довжин) шляхів, алгоритм Флойда з використанням матриці шляхів між

вершинами, алгоритм Дейкстри з використанням матриці довжин дуг та ін.

Матриця ваг (довжина) дуг C алгоритму Уоршалла виглядає наступним чином.

$$(2.2) \quad C[i, j] \begin{cases} 0, \text{ для } i = j; \\ C_{ij} - \text{довжина дуги між } i \text{ та } j \\ \infty, \text{ якщо немає дуги із } i \text{ в } j \end{cases}$$

Матриця H шляхів алгоритма Флойда :

$$(2.3) \quad H[i, j] \begin{cases} k, \text{ якщо } k - \text{перша вершина, що досягається} \\ \text{на найкоротшому шляху з } i \text{ в } j \\ 0, \text{ якщо шляху з } i \text{ в } j \text{ немає} \end{cases}$$

Пропонована матриця шляхів відрізняється від матриці шляхів Флойда, що видно з алгоритму наведеного вище. Розглянемо застосування матриці ваги (довжини) дуги Уоршалла C та матриці шляхів Флойда H . Для цих додатків зручно нумерувати вузли окремо; кореневий вузол нумерується 1 а кінцевий- 8.



Мал. 2.2. Розімкнутий граф для алгоритмів Уоршалла та Флойда

Отже, обидві матриці C і H будуть мати розмір 8×8 . припустимо, що всі ваги (довжини) дуг рівні 1 і тоді матриця C буде мати такий вигляд:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 1 & 0 & 1 & 1 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 1 & 0 & \infty & 1 & 1 & \infty & \infty \\ \infty & 1 & \infty & 0 & \infty & \infty & 1 & 1 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & 0 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & 1 & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 1 & \infty & \infty & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 1 & \infty & \infty & \infty & 0 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Матриця H має такий вигляд (з урахуванням таких обмежень: Шляхи розглядаються лише вздовж потоку потужності або у зворотному напрямку):

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 3 & 4 & 3 & 3 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 5 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 8 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 4 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 4 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Розглянемо запропоновану матрицю шляхів Р стосовно матриці С і Н, проаналізувавши алгоритм пошуку шляху від випадкового вузла до початкового вузла.

Наприклад, розглянемо вузол 5 малюнку 2.1 і відповідний йому вузол 6 малюнку 2.2. У пропонуваній матриці шляхів Р рядок 6 (рядок 5 у скороченій формі запису) відведена для пошуку шляху від будь-якого вузла до початкового вузла, і цей шлях має такий вигляд:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Таким чином, шлях містить першу, другу та п'яту гілки, які при підсумовуванні дають значення опору.

Легко визначити шляхи від цієї лінії до інших вузлів (першого та другого).

Виключивши перший елемент, можна знайти шлях до першого вузла другої та п'ятої гілок. У цьому випадку у рядку 6 визначається номер вузла, з яким з'єднаний перший вузол - вузол 3. Оскільки в рядку 3 визначено, що вузол 3 з'єднаний з другим, п'ятим і шостим вузлами, потрібна додаткова дія для вибору вузла 2 більш високому рівні. Вузол 1, початковий вузол, потім визначається у

рядку 2. Таким чином, при використанні матриці C в даному випадку в запропонованій матриці шляхів довелося обробити три рядки замість одного. Це означає, що з шостого рядка видаляється номер третього вузла, з третього рядка номер другого вузла, а з другого рядка номер першого вузла. Запропоновані матриці шляхів P і C дозволяють визначати величини (значення опору електричної мережі) у процесі знаходження шляху від даного вузла до першого вузла, у той час як матриця H зберігає інформацію тільки про зв'язки між вузлами та вимагає розгляду додаткових масивів або матриць для визначення значень шляхів. Слід зазначити таке. Завдання пошуку найкоротшого шляху у графі також можна вирішити з допомогою бінарних дерев. Відомо, що будь-яке впорядковане дерево можна впорядкувати, а будь-яке впорядковане дерево можна подати у вигляді бінарного дерева/ У випадку з графом (деревом) СЕПП він представляється у вигляді бінарного дерева таким чином (рис. 2.3).

Подання дерев у двійковій формі заощаджує багато комп'ютерної пам'яті в порівнянні з іншими способами представлення графів та дерев. У найбільш компактній формі запису інформації про вузли ("польські" записи) двійкове уявлення дерева може вимагати обсяг пам'яті " $n(p) = 2p$, де p - кількість вузлів", що є безперечною перевагою такого уявлення. Розглянемо використання "польські" записи. Всі вузли дерева організовані таким чином, що всі піддерева вузла йдуть за цим вузлом. У дереві (рис. 2.2.), що розглядається, вузли організовані наступним чином (табл. 2.1.).

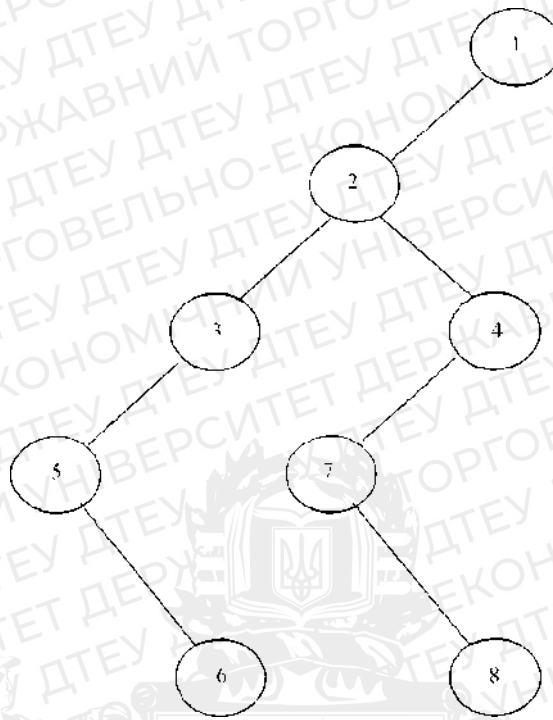


Рис. 2.3. Бінарне дерево СЕПП

№ Структура

1,2	Основне дерево
3, 5, 6	Ліве піддерево
4, 7, 8	Праве піддерево

Таблиця 2.1. Розташування вузлів бінарного дерева

Кожен вузол характеризується ступенем зв'язності (рахуйте зв'язки зверху донизу), а ступінь зв'язності має такі значення :

0 - лист (кінець піддерева); 1 - з лівим зв'язком, без правого зв'язку

2 - з правим зв'язком, без лівого зв'язку; 3 - з обома зв'язками.

Порядок розташування вузлів з урахуванням ступенів наведено у табл. 2.2.

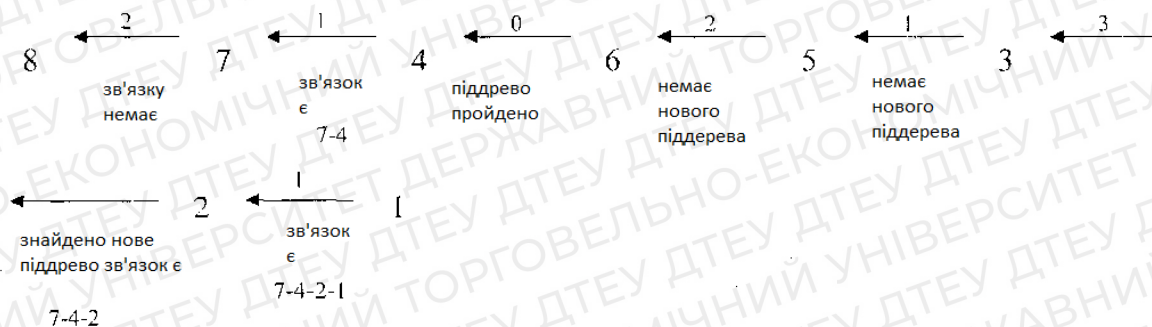
Наприклад, пошукаємо шлях від вузла 7 до вузла 1. Для пошуку використовується алгоритм, описаний нижче:

- Якщо ступінь верхнього вузла дорівнює 1, то між вузлами ланцюга, що розглядаються, існує електричний зв'язок.
- Якщо ступінь батьківського вузла дорівнює 2, то зв'язку з цим вузлом немає і він повинен перейти до наступного вузла. - Якщо ступінь батьківського вузла дорівнює 0, це означає, що піддерево, що розглядається, добігло кінця і слід шукати батьківський вузол зі ступенем 3, а вже від нього розглядати подальші зв'язки

№ вузла	Степень зв'язку
1	1
2	3
3	1
5	2
6	0
4	1
7	2
8	0

Таблиця 2.2. Масив вузлів з урахуванням ступенів зв'язку

Алгоритм знаходження шляху виглядає так:



Потрібний шлях від вузла 7 до вузла 1 знайдено: 7-4-2-1 Таким чином, для знаходження шляху знадобився перегляд всього масиву з досить складним аналізом ступенів зв'язку вузлів. При цьому інформація про лінії, що з'єднують вузли схеми, повинна зберігатися в окремому масиві, що призводить до збільшення обсягу необхідної пам'яті. У бінарному дереві є зв'язки, що не відображають реально існуючих з'єднань між вузлами СЕПП. Наприклад, вузол 7 і 8 не пов'язані безпосередньо між собою, а в бінарному дереві зв'язок між ними існує. З іншого боку, бінарні дерева вимагають додаткових програмних ресурсів для пошуку гілок, оскільки працюють в основному з вузлами схеми, а також візуалізація СЕПП у форматі бінарного дерева значно поступається візуалізації звичайного дерева впорядкованого. Пропонована матриця шляхів може займати обсяг пам'яті, який можна порівняти з обсягом пам'яті, необхідним для бінарного дерева. Для цього необхідно використати техніку розріджених матричних математичних апаратів. У цьому прикладі обсяг матриці колій становить $7 \times 7 = 49$ елементів, а кількість ненульових елементів – 17.

2.3 Розробка математичних моделей для оптимізації втрат потужності

Оптимізація втрат потужності в СЕПП

Оптимізація - це діяльність, спрямовану досягнення найкращого можливого результату за умов. Формулювання завдання оптимізації починається з визначення наступних основних положень

1. об'єктом оптимізації є система електропостачання промислового підприємства, а метою - максимальне зниження втрат електроенергії тими чи іншими організаційними чи технічними засобами за заданих витрат
2. ресурси оптимізації - організаційні та технічні заходи, реалізація яких знижує втрати електроенергії.

3. кількісна оцінка ефективності оптимізації може бути виражена у кількості або вартості заощадженої електроенергії.

4. ліміти у процесі оптимізації (реалізація запланованих організаційно-технічних заходів) - обсяг коштів, виділених забезпечення робіт з енергозбереження.

Таким чином, вирішення задачі оптимізації енергозбереження в СЕПП полягає у виборі організаційних та технічних заходів, витрати на які не перевищують певної запланованої суми та реалізація яких забезпечує максимальну ефективність.

Кожен енергозберігаючий захід може бути оцінений за двома критеріями:

- витрати на реалізацію, тобто вартість відповідного заходу;
- вигоди, отримані в результаті реалізації цього заходу. Це виявляється у вигляді оцінки витрат під час вирішення оптимізаційної задачі.

Для будь-якої системи електропостачання (як і для інших систем, що споживають паливно-енергетичні ресурси) може бути запропонована велика кількість заходів, але їх швидка реалізація практично неможлива через обмежене фінансування.

Тому при вирішенні задачі оптимізації енергозбереження необхідно вирішити, які саме заходи вибрати. При цьому обрані заходи мають бути такими, що дають найбільший ефект.

Весь набір заходів з енергозбереження позначається D . Враховуючи матеріал глави 1, розділимо вихідний набір заходів D на дві множини, що не перетинаються, D_1 і D_2 . Набір D_1 містить заходи, які планується на найнижчому рівні графа СЕПП (технологічне устаткування). Особливістю цього рівня є те, що з набору заходів, запланованих для будь-якої технологічної установки, може бути обраний лише один захід, і ця установка може бути виключена з вибору інших заходів.

Тому проаналізований набір D_1 повинен пройти первинну обробку і включатиме заходи, обрані таким чином, щоб потім включити їх до математичної моделі завдання оптимізації електродів та грубих втрат у СЕПП. D_2 містить енергозберігаючі заходи, які можуть бути реалізовані для елементів СЕПП, причому для конкретних елементів СЕПП можуть бути заплановані та реалізовані кілька енергозберігаючих заходів.

Кожен захід, що розглядається у задачі оптимізації енергозбереження СЕПП, має свою вартість та свій ефект від реалізації, який визначається зниженням грошових втрат. При переході до множини D_1 і D_2 передбачається, що D_1 містить n заходів, а D_2 - t заходів. У цьому випадку -мірні вектори $C_1(i)$ та $E_1(i)$ містять витрати та ефекти від реалізації заходів у множині D_1 , відповідно. Також вектори $C_2(i)$ та $E_2(i)$ містять витрати та наслідки заходів у множині D_2 . Ми також вводимо два вектори $X_1(i)$ та $X_2(i)$, елементами яких є $x_1 = 1$, якщо міра обрана для реалізації, інакше $x_1 = 0$ (заходу не обрано).

З огляду на всі введені позначення сформулюємо завдання оптимізації енергозбереження (мінімізації втрат) у СЕПП.

1. набір запланованих заходів D складається і декомпозується на дві множини, що не перетинаються, D_1 і D_2
2. МАІ використовується для вибору заходів із набору, D_1 яке стає D'_1
3. визначається величина фонду K , що виділяється на реалізацію аналізованого енергозберігаючого заходу
4. обмеження у вигляді цільової функції та нерівностей (з урахуванням обсягу виділених коштів), які мають бути максимізовані в результаті вирішення задачі оптимізації енергоефективності.

Математичне формулювання завдання виглядає так:

$$(2.6) \quad \left\{ \begin{array}{l} D = D_1 \cap D_2, \\ D'_1 = D_1, \\ F(x) = \sum_{i=1}^n E_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m E_2(i) \cdot x_2(i) \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^n C_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m C_2(i) \cdot x_2(i) \leq K \end{array} \right.$$

Математична модель завдання оптимізації енергозбереження в SESPP

включає дві підзадачі:

1. вибір заходів з енергозбереження відповідно до тієї чи іншої характеристики ЛПР - зазвичай, D_1 (один із кількох) і D_2 (Один або кілька із групи).
2. Розв'язання цілісної задачі лінійного булева програмування - пошук заходів із найбільшим ефектом.

2.4 Методика розв'язання задачі оптимізації втрат потужності

Підпроблеми оптимізації втрат потужності можна вирішити з допомогою наступних методів.

Перша підпроблема (вибір однієї з кількох альтернатив) може бути вирішена за допомогою того чи іншого методу системного аналізу. Вирішення другої підпроблеми (вибір кількох оптимальних варіантів) вимагає використання математичного програмування; докладніше вибір та використання методів для вирішення задачі оптимізації енергозбереження в СЕПП.

У системному аналізі одним із найефективніших методів прийняття рішень є метод ієрархічного аналізу МАІ. Цей метод особливо корисний при прийнятті компромісних рішень, що враховують як фактори, що формалізуються, так і неформалізуються, при цьому аналітична залежність їх впливу на процес прийняття рішення не описується. МАІ заснований на попарній оцінці групи об'єктів, що розглядається, за заздалегідь обраними показниками і характеристиками у зв'язку з цілями прийняття рішення. Ці порівняння обробляються засобами матричної алгебри до одержання остаточної оцінки рішення. По-перше, щодо попарних порівнянь цілей, а точніше їх показників, спочатку заданих як якісно, і кількісно, необхідно запровадити єдину реляційну шкалу, зручну для різних додатків. По-друге, необхідні формальні методи виявлення невідповідностей у судженнях, причому як для індивідуальних порівнянь, а й у оцінки ступеня порушення узгодженості щодо оцінки аналізованого питання загалом. Остання обставина має бути основою для пошуку прийнятних компромісів між суперечливими судженнями експертів. б - По-третє, необхідна формальна процедура оцінки переваги вихідних варіантів вирішення проблеми в цілому, що враховує вищезазначені аспекти при прийнятті рішення. МАІ залежить від того, чи всі ці умови виконуються.

Існує кілька причин для встановлення верхньої межі шкали відносин для парних порівнянь на рівні 9 (табл. 2.3):

1. 1. якісні відмінності мають сенс на практиці і мають елемент точності, якщо порівнювані об'єкти мають однаковий розмір або якщо об'єкти знаходяться в безпосередній близькості по відношенню до характеристики (дії, показника або фактора), що використовується для порівняння
2. 2. Було помічено, що здатність людей робити якісні відмінності добре представлена наступними п'ятьма.

Часто її представляють п'ятьма визначеннями: рівна, слабка, сильна, дуже сильна та абсолютна. Зазвичай потрібно дев'ять значень, і вони можуть бути добре підібрані. Отримана шкала може бути добре застосована практично.

Таблиця 2.3. Оцінка попарного порівняння критеріїв важливості

Степень	Визначення	
1	Одинакова значимість	Дві дії вносять однаковий вклад в досягнення цілі
3	Деяка перевага значиння одної дії (показника, фактора) перед іншим (слабка залежність)	Досвід і судження дають легку перевагу одній дії (показнику, фактору) перед іншою
5	Істотна чи сильна залежність	Досвід та судження дають сильна перевага одній дії перед
7	Дуже сильна чи очевидна значимість	Перевага однієї дії перед іншою дуже сильна його перевага
9	Абсолютна значимість	Свідोцтво на користь переваги однієї дії іншій найбільш переконливе
2, 4, 6, 8	Проміжна значимість між сусідніми значеннями шкали	Ситуація, коли потрібне компромісне рішення
Зворотні величини наведених	Якщо дії і при порівнянні з дією j надається одне з наведених вище чисел, то дія) при порівнянні з і	

3. Психологічна межа 7 ± 2 предметів при порівнянні одночасно підтверджує, що якщо ви візьмете 7 ± 2 окремі предмети, всі вони трохи відрізняються один від одного, для їх розрізнення потрібно чисел.

4. Експертна оцінка (ЛПР) організована в квадратну матрицю M розмірністю $n \times n$ (число об'єктів, що розглядаються). За угодою, що приймається в МАІ, порівняння сили фактора завжди проводиться для дії і предмета, що стоїть у

лівому стовпці, по відношенню до дії або предмета, що стоїть у верхньому рядку матриці. Оцінки виражаються в цілих числах наступним чином, якщо об'єкт А перевершує за фактором порівняння об'єкт В, то елемент матриці, відповідний рядку А і стовпцю В заповнюється цілим числом, а елемент, відповідний рядку В і стовпцю А, - заповнюється зворотним числом (дробом) і навпаки. Якщо А і В однакові за фактором порівняння, елементи матриці M_{AB} і M_{BA} заповнюються одиницями.

5. На наступному етапі методу розраховується вектор пріоритетів для отриманої матриці М, цей вектор визначається як приватне від поділу головного власного вектора матриці на суму всіх його елементів. Порядок знаходження вектора пріоритетів наводиться нижче. Розглядається таке матричне рівняння:

$$M \cdot \gamma = \lambda \cdot \gamma \quad (2.7)$$

Де λ - власне значення (власне число) матриці М;

γ - ненульовий вектор, що задовольняє рівняння (2.7) і називається власним власним значенням вектором матриці М. відповідає λ

Перетворимо рівняння (2.7) до наступного виду :

$$(M - \lambda \cdot E) \cdot \gamma = 0 \quad (2.8)$$

де E - одинична матриця такого ж порядку, що і М.

Система (2.8) матиме рішення γ , відмінне від нуля, коли визначник матриці $(M - \lambda \cdot E)$ дорівнює нулю, тобто.

$$\det(M - \lambda \cdot E) = 0 \quad (2.9)$$

Розкриття цього рівняння наводить К отриманню характеристичного рівняння виду:

$$\lambda^m + p_1\lambda^{m-1} + p_2\lambda^{m-2} + \dots + p_{m-1}\lambda + p_m = 0 \quad (2.10)$$

являє собою рівняння алгебри ступеня m . Відомо, що будь-яке рівняння алгебри ступеня m має рівно m коренів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ з урахуванням їх можливої кратності.

Таким чином, матриця M , що розглядається, матиме набір з m власних значень $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ і відповідних їм власних векторів $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$, тобто вирішується

повна проблема власних значень. Потім знаходиться значення

$\lambda_{max} = \max\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ і по отриманому λ_{max} визначаємо відповідний йому

власний вектор Γ , який і буде основним власним вектором аналізованої матриці

M . В даний час найкращим методом обчислення всіх власних значень квадратних заповнених матриць загального виду вважається QR-алгоритм. Опишемо

ітераційну процедуру, що є основою алгоритму, вона заснована на розкладанні матриці B добуток ортогональної і верхньої трикутної матриць (QR-розкладання)

. На першій ітерації за допомогою методу відображення або методу обертання обчислюють QR-розкладання матриці $M^{(0)} = M$ що має вигляд

$$M^{(0)} = Q_1 R_1 \quad (2.11)$$

Потім будується матриця $M^{(1)} = R_1 Q_1$. З рівності (2.11) випливає, що

$R_1 = Q_1^{-1} M^{(0)}$ тому $M^{(1)} = Q_1^{-1} M^{(0)} Q_1$. Таким чином, матриці $M^{(1)}$ та $M^{(0)}$ подібні

і тому мають загальний набір власних значень $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$. На другій ітерації

знаходять QR-розклад матриці $M^{(1)}$, що має $M^{(1)} = Q_2 R_2$ і обчислюють матрицю

$M^{(2)} = R_2 Q_2$ подібну до матриці $M^{(1)}$. На $(k+1)$ -й ітерації знаходять QR-розклад

матриці $M^{(k)} = Q_{k+1} R_{k+1}$

і обчислюють матрицю $M^{(k+1)} = R_{k+1} Q_{k+1}$. Необмежене продовження цього процесу

дасть послідовність матриць $M^{(1)}, M^{(2)}, \dots, M^{(n)}, \dots$, подібних M

Послідовність $M^{(n)}$ сходиться до верхньої трикутної матриці A

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \times & \times & \dots & \times \\ 0 & \lambda_2 & \times & \dots & \times \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \dots & \times \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Наведений вище варіант QR-алгоритму неефективний з двох причин. Перша з них полягає в тому, що для реалізації тільки однієї ітерації цього методу потрібно виконати порядку арифметичних операцій, якщо M - матриця загального виду.

Друга причина полягає в тому, що за наявності двох близьких власних значень

$\lambda_i \approx \lambda_{i+1}$ метод сходиться дуже повільно, так як, наприклад, елемента $a_{i,i+1}^{(k)}$ а

$a_{i,i+1}^{(k)}$ сходиться до нуля зі швидкістю геометричної прогресії, знаменник

якоб $q = \left| \frac{\lambda_i}{\lambda_{i+1}} \right| \approx 1$. Для того щоб зменшити число арифметичних

операцій, матрицю M попередньо приводять до форми Хессенберга :

$$Hs = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1,m-1} & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2,m-1} & h_{2m} \\ 0 & h_{32} & \dots & h_{3,m-1} & h_{3m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & h_{m,m-1} & h_{mm} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Матриця Hs , в якій дорівнюють нулю всі елементи h_{ij} , такі, що $i > j+1$

(тобто всі елементи, розташовані нижче діагоналі, безпосередньо

що примикає до головної діагоналі), називається матрицею Хессенберга .

Матриці M і Hs подібні і мають загальний набір власних

значень, а матриця подібності P_d , для якої виконується рівність

$H_s = P_d^{-1} \cdot M \cdot P_d$ ортогональна. Після перетворення матриці M у форму (2.13)

алгоритм QR застосовується до матриці H_s , внаслідок чого виходять усі власні значення та власні вектори. Далі слідує головний власний вектор, поділений на суму елементів, що дає вектор пріоритету. Так само визначаються вектори пріоритету інших груп в ієрархії.

6. Заключний етап методу – визначення пріоритету альтернативи стосовно основної мети. Для цього векторний стовпець пріоритету вибору критерію перетворюється на матрицю, звану складовою матрицею. Альтернативний пріоритет головної мети визначається як збільшення критеріїв пріоритету складової матриці на векторний стовпець. Іншими словами. Ієрархічний синтез використовується для зважування власних векторів з еталонними вагами, і суми обчислюються всім відповідних компонентів зважування власних векторів Нижній рівень ієрархії. З отриманих результатів визначається 1 чи більше варіантів. Для вирішення техніко-економічних проблем у системі електропостачання промислових підприємств застосовано метод ієрархічного аналізу. Для цього звернемося до раніше розробленого графіка енергосистеми промислових підприємств (рис. 1.9.). Визначення витрат та впливу можна отримати, пройшовши через гілки графіка. Тут є 2 випадки: вибір опції з нижчого рівня (зміна технології) різні варіанти; альтернативні варіанти на вищому рівні. Прийняття рішення щодо вибору найкращого варіанту здійснюється за деяким комплексом критеріїв $F_1 F_2 F_3$ т.д. Критеріями вибору можуть служити, наприклад, F_1 — капітальні витрати; F_2 - амортизаційні витрати; F_3 - експлуатаційні витрати; F_4 величина економії електроенергії тощо.

Математична модель оптимізації витрат електроенергії в СЕПП (вибір кількох енергозберігаючих заходів із комплексу можливих) має такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x) = \sum_{i=1}^n E(i) \cdot x(i) \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^n C(i) \cdot x(i) \leq K \\ x(i) \in \{0; 1\} \end{array} \right.$$

(2.14)

Завдання оптимізації є перебірними, тобто. допускають рішення з допомогою деякого процесу перебору варіантів, проте кількість можливих варіантів зростає експоненційно залежно від розмірів завдання. Тому перебірні (без будь-яких обмежень) алгоритми вирішення таких завдань вважаються неефективними.

Метод гілок і кордонів заснований на послідовному використанні кінцевої множини варіантів розв'язання задачі та заміні повного перебору скороченим, спрямованим перебором. Повного перебору вдається уникнути з допомогою відкидання «неперспективних» безлічі варіантів, тобто. таких, які свідомо що неспроможні містити рішення «кращого», ніж рішення, що залишилося у вибраному множині.

Представимо безліч X всіх можливих розв'язків задачі оптимізації як одиничного мірного куба. Залежно від характеру множини X , задачі оптимізації класифікуються як дискретні (X -кінцеве), цілочисленні (X -ціле), булеві (X -0 або 1). Вибираються, відповідно до рівномірного розподілу на X , випадкові точки x_t , в яких обчислюються значення цільової функції, запам'ятовують найменше поточне значення (рекорд) і відповідна йому точка.

Тоді $\forall \varepsilon > 0$ ймовірність отримання оптимального рішення

$P(|\min f(x_1) - f^*| > \varepsilon) \rightarrow 0$ при $1 \rightarrow \infty$ де f^* - оптимальне значення цільової функції.

Схожість такого методу буде досить повільною, крім того пасивний (який не використовує при виборі чергової точки інформацію, отриману для попередніх) спосіб пошуку призводить до повного перебору.

Для скорочення обсягу обчислень може бути використаний наступний метод перебору за схемою гілок та кордонів.

Нехай x_1 - центр куба X . Обчислюємо $f(x_1)$ і присвоюємо значення рекорду

$R := f(x_1)$. Розбиваємо куб на 2^n однакових підкуба x_{1i} - зі стороною $1/2$ та

обчислюємо значення цільової функції в їх центрах $f(x_{1i})$ при $i=1, 2, \dots, 2^n$.

При цьому постійно відбувається оновлення під час обчислень значення рекорду:

$R := \min_1 f(x_{1i})$.

Перевіряємо виконання умови $x_{1i} \subseteq R$ для $i=1, 2, \dots, 2^n$ і відкидаємо відповідні підкуби. Кожен з тих, що залишилися, розбиваємо на 2^n однакові підкуби x_{2i} , зі стороною $1/4$ таким чином як раніше.

Правило вибору чергового "кубика" для розбиття називається правилом розгалуження. На будь-якому етапі процесу формується безліч L «кубиків» зі сторонами 2^{-l} , $l \geq 2$ (ціле). Значення цільової функції обчислюється в центрі кожного нового під куба, що включається L після розбиття увібраного для цього «кубика». Алгоритм зупиняється, коли L порожній. Послідовність тієї чи іншої стратегії розгалуження оцінюється в кожному конкретному випадку по-різному, виходячи з головного завдання методу гілок та кордонів – відсікти більше гілок.

Для побудови ефективного алгоритму за методом гілок та кордонів також можливе використання теореми Данцига для наведеної задачі (якщо відношення величин $E(i)$ до $C(i)$ не зростає із зростанням номерів i , що можна зробити практично з будь-яким завданням шляхом перенумерації об'єктів).

Тоді оптимальне рішення перебуватиме за допомогою наступних рекурентних співвідношень:

$$w(i) = \min(c(i), c(0) - \sum_{j=1}^{i-1} c(j) \cdot w(j)/c(j)),$$
$$i=1,2,\dots,n. \quad (2.15)$$

Верхня оцінка V для отриманого значення $w'(i)$ знаходиться як $V=F(w'(i))$.

Нижня оцінка знаходиться також за допомогою рішення вихідного завдання, отриманого за рекурентними співвідношеннями за теоремою Данцига.

Нехай y - цілий вектор, який виходить з використанням вектора $w'(i)$ наступним чином:

$$(2.16) \begin{cases} y(i) = w'(i) \text{ якщо } w'(i) \text{ -- ціле} \\ y(i) = 0 \text{ в інших випадках} \end{cases}$$

тоді $H=F(y)$ є досяжною нижньою оцінкою.

Таким чином, визначається, що розв'язання задачі перебуватиме між V і H . Потім проводиться бифуркація (розбиття повної множини допустимих рішень на підмножини які пересікаються). Як один або кілька напрямків розгалуження вибираються змінні, які є дробними в першому отриманому рішенні. Для всіх підмножин задаються верхня межа V і нижня межа H , а відсіювання проводиться позначенням w_i , отриманим для складеного підмножини і значень V і H .

Динамічне програмування - це метод оптимізації, який дозволяє розділити процес прийняття рішення на окремі етапи (кроки). Як практичний метод оптимізації динамічне програмування може бути використане лише на базі сучасної обчислювальної техніки. Динамічне програмування засновано на принципі

оптимальності Беллмана. Основна ідея методу полягає у наступному. Замість вирішення вихідної задачі включається в серію оптимізаційних завдань (інваріантна перколяція).

Проілюструємо сказане на найпростішому прикладі. Припустимо, нам потрібно знайти мінімальне значення функції $f(x)$ спеціального вигляду:

$f(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \rightarrow \min_{x \in G^n}$ де G^n прямиий добуток областей (множин) G_i , визначення функцій $f_i(x_i)$;

$$G^n = G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n; x_i \in G_i, i=1,2,\dots,n.$$

Розглянемо сімейство задач

$$f^{(m)}(x^{(m)}) = \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \rightarrow \min_{x^{(m)} \in G^m} \quad (2.18)$$

$m=1,2,\dots$

В останньому співвідношенні $x^{(m)} = (x_1, \dots, x_m)^T$. Вихідне завдання занурене (інваріантне занурення) у побудоване сімейство завдань у тому сенсі, що вона входить у це сімейство як окремий випадок (при $m=n$). У задачі (2.18) параметр m можна трактувати як дискретний час. Введемо так звану функцію Беллмана:

$$B_m = \min_{x^{(m)} \in G^m} \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \quad (2.19)$$

Очевидно

$$\begin{aligned} B_{m+1} &= \min_{x^{(m-1)} \in G^{m-1}} \left[f_{m+1}(x_{m+1}) + \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \right] = \\ &= \min_{x^{(m-1)} \in G^{m-1}} \left[f_{m+1}(x_{m+1}) + \min_{x^{(m-1)} \in G^{m-1}} \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \right] \end{aligned} \quad (2.20)$$

Але другий доданок в останньому виразі є B_m , тому функція Беллмана задовольняє функціональному рівнянню

$$B_{m+1} = \min_{x^{(m+1)} \in G^{m+1}} [f_{m+1}(x_{m+1}) + B_m] \quad (2.21)$$

або, тому що в даному випадку B_m не залежить від x_{m+1} ,

$$B_{m+1} = \min_{x^{(m+1)} \in G^{m+1}} f_{m+1}(x_{m+1}) + B_m \quad (2.22)$$

Причому

$$B_1 = \min_{x^{(1)} \in G^1} f_1(x_1)$$

Вирішуючи (2.22) з урахуванням останньої умови,

отримаємо B_1, B_2, \dots, B_n і $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ і. Розв'язанням вихідного завдання

будуть B_n і $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$

Таким чином, динамічне програмування зводить задачу мінімізації скалярної функції від змінних до задачі мінімізації скалярної функції однієї змінної. В результаті істотно знижується обчислювальна складність чисельного рішення задачі. Фактично, можна визначити $G_i (i = 1, 2, \dots, n)$ як кінцеві множини з 1 точки кожне. Загальне визначення моделі динамічного програмування виглядає таким чином. Розглядається керована система, яка під впливом управління переходить з початкового стану в кінцеве.



Рис.2.4: Модель динамічного програмування.

Стан системи ξ_k після кроку ($k=1, 2, \dots, n$) характеризується параметрами, які називаються фазовими координатами. Стан ξ_k можна зобразити точкою n -мірного простору, що називається фазовим простором. Послідовне перетворення системи (по кроках) досягається за допомогою деяких заходів u_1, u_2, \dots, u_n , які становлять управління системою.

Стан системи наприкінці k -го кроку залежить від попереднього стану системи та управління цьому етапі (рис. 2.4.), така властивість називається відсутність післядії. Ця залежність позначається наступним чином $\xi_k = F_k(\xi_{k-1}, u_k)$, і отримала назву рівняння станів.

Варіюючи управління, отримуємо різну «ефективність» процесу, яка оцінюється кількісно деякою цільовою функцією Z , яка залежить від початкового стану системи ξ_0 і від обраного управління $U: Z = \Phi(\xi_0, U)$.

Термін «ефективність» сприймається як деяка оцінка результату процесу. Вона може бути показником, який бажано максимізувати (ефект), або показником, який необхідно мінімізувати (втрати).

Розглянемо використання методу динамічного програмування на вирішення завдання оптимізації за табличною схемою .

Позначимо через $Z(m, p)$ завдання оптимізації енергозбереження за таких умов: m - число заходів з енергозбереження, $m \leq n$; p - обсяг фінансування, $p \leq K$. Позначимо $R(m, p)$ - оптимум задачі $Z(m, p)$. Тоді за прийнятих умов оптимальне рішення задачі $Z(n, K)$ буде рішенням вихідної задачі, і дорівнюватиме $R(n, k)$. Для визначення величини $R(n, k)$ використовуються такі рекурентні співвідношення :

$$R(m+1, p) = R(m, p), \text{ якщо } C(m+1) > p$$

$$R(m+1, p) = \max\{R(m, p), E(m+1) + R(m, p - C(m+1))\} \text{ якщо } p > C(m+1) + 1$$

(2.23)

Граничні умови, що визначаються для першого рядка таблиці:

$$R(1, p) = 0 \text{ якщо } C(1) > p$$

$$R(1, p) = C(1) \text{ якщо } C(1) < p + 1 \quad (2.24)$$

$C(i)$ - вартість енергозберігаючого заходу (капітальні витрати на реалізацію).

Результати розрахунків зручно відображати у вигляді таблиці з n рядками та k стовпцями з рекурсивними співвідношеннями та граничними умовами (звідси і назва методу), де в осередках таблиці містяться відповідні розрахункові значення $R(m, p)$. Для вирішення цього завдання не обов'язково заповнювати всі осередки таблиці, а лише ті, що використовуються для обчислення $R(n, k)$. Порівняйте метод гілок та кордонів з динамічним програмуванням. Обидва методи належать до групи комбінаторних методів оптимізації та засновані на використанні переборки варіантів. Для прискорення обчислень варіанти будь-яким чином нумеруються. Основним недоліком табличної форми динамічного програмування є великий розмір одержуваних таблиць. Крім того, вона досить незручна при організації процесу обчислень, оскільки на першому етапі необхідно зберігати

формулу (яку можна уподібнити до зворотного ходу), а потім отримані значення (прямий хід). Основними недоліками методів розгалуження та обмеження є складність визначення напрямку розгалуження та швидке зростання обсягу необхідних обчислень зі збільшенням розміру завдання.

2.5 Модифікований метод гілок та кордонів

Для спрощення процедури пошуку оптимального розв'язання задачі енергозбереження можна запропонувати таку модифікацію методу гілок та кордонів, що базується на неповному перерахуванні варіантів. Береться набір запланованих заходів. Тобто заходи з найбільшим ефектом поміщаються в перший ряд, а інші заходи розташовуються в порядку зменшення ефекту.

У запропонованій модифікації набір планованих (можливих) заходів розбивається на підмножини, що перетинаються, серед яких шукається оптимальне рішення. Для зниження обчислювальної складності деякі підмножини виключаються із оцінки (відкидаються). Основою таких операцій є значення, обумовлене описаним нижче методом, тобто. Нижня границя.

У порівнянні з класичним методом гілок та кордонів, модифікований метод має такі особливості

- використовуються підмножини, що перетинаються;
- напрямки біфуркації (освіти підмножин) однаково протягом усього розрахунку (у порядку зменшення впливу);
- використовується лише одна (нижня) межа для відкидання частини підмножини;
- використовується неповне перерахування деформацій.

Оптимальне рішення виходить так:

- задається значення (K) обсягу фінансування енергозберігаючих заходів на підприємстві;

- до набору заходів застосовується наступний алгоритм:

Вибирається перший захід (з найбільшою ефективністю), фіксується його вартість C_1 та ефективність E_1 , потім переходять до другого заходу та обчислюється сума:

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 \text{ і } E_{\Sigma} = E_1 + E_2$$

(2.25)

-при перевірці умови:

$$C_{\Sigma} \leq K, \quad (2.26)$$

Якщо умова виконана, здійснюється перехід до наступної міри;

- якщо умова $C_{\Sigma} \leq K$, - перший варіант рішення - не виконується, відбувається зупинка рахунку та записується E_{Σ} та C_{Σ} та кількість заходів n_i , - що становлять оптимальне рішення;

- Знаходження другого варіанта – за винятком першого заходу (який на даному етапі не розглядається);

В результаті виходить другий варіант рішення, який порівнюється з першим варіантом, і якщо він кращий за перший за ефективністю, то другий варіант приймається за оптимальне рішення;

- Потім розраховується третій варіант (без урахування першого та другого варіантів) та порівнюється з другим варіантом.

За один крок розрахунок завершується. Це відбувається тому, що та чи інша оцінка (E_{Σ} або C_{Σ} заходів, що залишилися) призводить до висновку, що в наборі, що залишився, немає оптимального рішення. Такого висновку можна дійти після

аналізу даних для кожного варіанта перерахування. Для цього необхідно дослідити залежність сумарного ефекту, отриманого на кожному етапі розрахунку від порядкового номера $E = f(N_{\text{пер}})$; етапу (перерахування).

Розрахунок можна зупинити і дійти невтішного висновку, що оптимальне рішення знайдено, коли виконується умова $\Delta E / \Delta N < 0$, тобто. коли функція починає зменшуватися.



3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СППР ОПТИМІЗАЦІЇ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Основні вимоги до програмного забезпечення СППР

Обговоримо докладніше деякі питання, пов'язані з включенням математичних моделей та алгоритмів до СППР. Основні труднощі, що виникають у цьому випадку, пов'язані з необхідністю інтегрувати в єдину людино-машинну систему (ЛМС) різноманітні елементи, що не піддаються формалізації, такі як мислення людини, умови довкілля, математичні моделі та формальні алгоритми.

Відомі різні підходи до вирішення цих проблем. Використання людської "адаптації" існуючих моделей оптимізації ("машинно-людський" підхід, використання людини як "машини" у процесі прийняття рішень). Існує мало можливостей для інтеграції людини в процес прийняття рішень) до метафоричних підходів з використанням евристичних алгоритмів, що імітують людське мислення (мало можливостей для використання потужного наукового потенціалу математики і, як правило, автоматизація досить великої кількості математичних моделей може призвести лише до розробки нової моделі. Процес розробки ЛМС - це процес формулювання: формулювання значних припущень, описів та відповідних вимог та формальних аксіом. Однак необхідно враховувати специфіку та методологічні засади розробки ЛМС. Наприклад, при використанні підходу "людина-машина" необхідно в принципі перейти від моделей, придатних для математиків та програмістів, які прагнуть ефективного використання комп'ютерів, до моделей і методів, що підходять для кінцевих користувачів (люди приймаючі рішення (ЛПР), які визначають ефективність ЛМС загалом.

Вимоги СППР:

Кінцеві результати для прийняття рішень

Процедури прийняття рішень

Елементи ЛМС –

Моделі та методи

Вихідні дані.

Розглядається функціональність системи загалом і основі оцінюються вимоги до алгоритмів розв'язання задач. Загальне завдання СППР полягає у наданні інформаційної допомоги та підтримки (інтерактивний режим та різноспрямована взаємодія між ЛМС та ЛПР) для вирішення окремих дослідницьких або впроваджувальних завдань, що виникають у ході робіт з СППР, забезпечення зв'язування завдань на кожному етапі робіт з СППР та координації інформації на заключному етапі (СЕСПП); та етапі СППР, орієнтуючись насамперед на заключний етап (управління оптимізацією енергоефективності). Інформація та програмне забезпечення повинні виконувати такі функції

1. забезпечувати належну візуалізацію відповідної структури показників СЕСПП та узгодженість даних, зокрема, оперативний моніторинг усіх можливих наслідків змін показників
2. надавати користувачам можливість працювати з показниками, які вони бачать, та пов'язувати їх із джерелами даних, що належать до реального виробничого процесу
3. керування умовами (джерела вихідних даних, алгоритми перетворення) для отримання агрегованих показників
4. забезпечення можливості коригування результатів дослідження СППР кожному етапі процесу прийняття рішень
5. надання користувачам можливості взаємодії з детальними та агрегованими показниками
6. забезпечення оперативного аналізу всіх наслідків прийнятих у рамках процедури рішень та їхнього впливу на ступінь досягнення кінцевої мети.

7. можливість підтримки обчислень як "знизу нагору", так і "зверху вниз" в інформаційній структурі
8. забезпечення зручної взаємодії з комп'ютером одного користувача (дружній інтерфейс) та одночасної багатосторонньої взаємодії із системою групи користувачів, а також через систему між користувачами.
9. Забезпечення можливості роботи зі змінними (додатковими, створеними в процесі вирішення проблеми на ранній стадії процедури) базами даних з альтернативними елементами виробництва, технології та структури програми з урахуванням надлишкового переліку конкуруючих технологій, видів діяльності тощо.
10. надання користувачеві можливості змістовного керування алгоритмом та налаштування ступеня автоматизації розв'язання задачі (аж до перевірки ручних розрахунків).
11. оперативна підготовка та модифікація вихідних структур даних оптимізаційної моделі та використання результатів у системі супроводу.
12. забезпечення процедур координації вирішення взаємозалежних завдань, зокрема, можливість використання довільних показників як змінних, обмежень та критеріїв.

Спільним вимогою, визначальним застосовність (реалізованість) системи загалом, є забезпечення ефективності та зручності її практичного використання, тобто. природне органічне включення у методи роботи. Крім того, важливою загальною вимогою є можливість удосконалення, модернізації та адаптації системи у процесі експлуатації.

поглиблення, вдосконалення та модифікація алгоритмів. Опишемо основні елементи інтерактивної ЛМС (на прикладі найпростішого завдання вибору).

Люди-користувачі (особливо люди приймаючі рішення). У їх функції входить зв'язування ЛМС з реальним виробничим середовищем (наприклад, аналіз вихідних даних та підготовлених результатів, відповідальність за результати), постановка та коригування цілей та завдань, вибір рішень, оцінка та вибір варіантів вирішення спільного завдання і т.д. Основна функція комп'ютера (точніше, комплексу технічних засобів, програмного та математичного забезпечення) полягає в автоматизації деяких операцій, що формуються, пов'язаних з процедурою створення, оцінки та вибору рішень. Комп'ютери належать лише до математичної та програмної частини, пов'язаної з моделями та алгоритмами. Кожна з цих моделей складається з опису об'єкта, опису переваг ЛМС та алгоритму, що виконує вибір найбільш відповідного варіанта прийняття рішення. Процедура взаємодії передбачає координацію обміну інформацією між ЛПР та СППР та вирішення завдань за відведений ЛПР час: обробка інформації ЛПР, передача її на комп'ютер (СППР), обробка інформації на комп'ютері та передача даних з СЕПП в СППР. Перед початком процедури діалогу в СППР повинна бути реалізована модель об'єкта, що розглядається, у вигляді комп'ютерної програми або опису предметної області, а також модель переваг ЛПР. Після введення необхідних вихідних даних ці моделі СППР генерує перший варіант рішення ЛПР. Якщо цей варіант не влаштовує, він отримує від ЛПР додаткову інформацію про переваги, що відповідним чином змінює модель і коригує її. Модель змінюється відповідним чином, і комп'ютер генерує новий, змінений варіант рішення. Цей діалог триває до того часу, поки буде отримано прийнятний (найбажаніший) з погляду ЛПР варіант рішення чи ЛПР не відмовиться працювати з системою. Зверніть увагу на протиріччя, що виникають у такому діалозі. Це проявляється у перекладанні відповідальності. Математик, як математичний експерт, професійно відповідає за якість вирішення задачі (моделі), що є виключно математичним. Він не уповноважений та не відповідає за зміст процедур проектування чи планування, а також за оцінку результатів рішень.

Однак він є особою, яка прямо чи опосередковано (через моделі, що розробляються й алгоритми) приймає фактичні рішення. ЛПР компетентний у матеріальних питаннях і несе відповідальність за кінцевий результат, але не обов'язково в математичних питаннях; для нього комп'ютер - це значною мірою "чорна скринька", а процес прийняття рішень до певної міри непрозорий. Таким чином, на практиці ЛПР відповідає за результат рішення, тоді як математика та програмне забезпечення формують це рішення. Ця суперечність може призвести до недовіри до ЛПР та почуття небажання працювати з комп'ютерами. Щоб усунути цю недовіру, розробіть вимоги до СППР кінцевого користувача (ЛПР). У цьому контексті постарайтеся вказати умови та напрямки діяльності для вирішення складних завдань. Для функціонування ЛПР з ЛМС у зв'язку із зовнішнім середовищем виходячи з того, що користувач є членом організаційно-технічної системи, створеної для вирішення конкретного завдання та отримання конкретного кінцевого продукту, і його діяльність так само раціональна та цілеспрямована, як і діяльність організації. У той самий час існує (зазвичай неформальний) механізм оцінки кінцевого результату розв'язання завдання за рівнем досягнення цілей, поставлених ЛПР. На етапі прийняття рішення ЛПР має обговорити та обґрунтувати запропонований варіант (результат) вирішення задачі перед вищою інстанцією. Таким чином, можна сформулювати такі припущення щодо поведінки ЛПР. Воно характеризує ставлення ЛПР до результатів розв'язання задачі: цілеспрямованість, відповідальність :ЛПР несе відповідальність за результати своїх рішень та обґрунтованість рішення.ЛПР вибирає лише обґрунтовані рішення, які можуть бути суттєво обґрунтовані).Існує кілька психологічних характеристик, які є важливими для реалізації людино-машинних систем. У разі складних завдань ЛПР характеризуються тим, що, як правило, не мають повного уявлення про проблему, цілі та методи її вирішення до початку вирішення задачі. Ці поняття стають ясними поступово, з отриманням додаткових даних у процесі ітеративного рішення.Перш ніж приступити до вирішення проблеми, ЛПР створює концептуальну модель, тобто попереднє уявлення про цілі та завдання діяльності, стан об'єкта, виробничого середовища та

ПВК і способи взаємодії з ними. Отримавши інформацію про поточний стан об'єкта, людина створює робочий образ, порівнює його з наявним, виявляє невідповідність, формулює, оцінює, вибирає і виконує дію усунення цієї невідповідності. Потім результати дії аналізуються, і концептуальна модель коригується, включаючи цілі, завдання та методи дії. Цей цикл повторюється. Формування рішень (і обґрунтування наслідків) відбувається у важливій категорії з обробкою інформації у тій частині особистості, яка відповідає психофізіологічним можливостям. Тому природні такі твердження:

-повторюваність процедур. Процедури вирішення складних проблем мають прогресивну повторюваність, включаючи коригування залежно від мети, завдання та предмета.

- об'єм інформації. У процесі вирішення проблем ЛПР діють на основі властивих їм знань про конкретне питання або проблему, яка потребує вирішення.

- обмежені можливості ЛПР обробляють інформацію як фрагментів, але їх організація, формат, швидкість і кількість подання відповідають можливостям ЛПР.

При розробці математичних інструментів для ЛМС ці припущення обмежують вибір моделями та методами, які підходять ЛПР для ітеративного коригування як самого рішення, так і навмисного зміни всіх параметрів моделі (обмежень, коефіцієнтів, критеріїв).

Обмеження можливостей ЛПР часто дуже сильні, і проблема отримання достовірної інформації від ЛПР може бути центральною, наприклад, розробки методів розв'язання слабоструктурованих завдань. Крім того, для вирішення складних завдань ЛПР у принципі використовуватиме кілька помічників, але відповідальність за рівень їхньої компетенції та результати їхньої роботи буде покладена лише на деяких із них, а відповідальність за прийняття рішень нестиме ЛПР загалом. Необхідною умовою ефективної роботи з помічником є впевненість ЛПР у результатах роботи помічника, тому робиться заява про можливість

контролю (при необхідності ЛПР повністю або частково контролює результати вирішення підзавдань помічника і те, як вони були досягнуті). Умови цього твердження мають бути виконані, якщо ЛПР виконує роль помічника. Необхідними умовами для того, щоб ЛПР довіряв результатам СППР, є можливість змістовного аналізу припущень та алгоритмів моделювання та, якщо потрібний повний контроль, можливість виконання деяких або всіх кроків рішення вручну. Слід зазначити, що при використанні лише часткової інформації та відсутності регламентації цієї взаємодії необхідне порозуміння між ЛПР та її помічником (людиною), щоб гарантувати контакт та можливість ефективної взаємодії у процесі прийняття рішення. Мабуть, існує поширена думка, що для ефективної взаємодії зі СЕПП достатньо надати ЛМС комп'ютер із встановленою системою. Однак це не так, оскільки ЛМС - це всього лише автомати і не мають всіх характеристик, необхідних для успішної взаємодії з людиною. Щоб гарантувати ці можливості, необхідно розробити відповідні програми та діалогові процедури, що вимагає формулювання вимог та завдань на рівні формалізму, що визначається технологією роботи даного автомата, тобто. на математичному рівні

3.2 Структурно-функціональна схема оптимізації СППР

Оптимізація енергозбереження у СЕПП

Побудуємо структуру СППР з урахуванням підходів та вимог, узагальнених у розділі 3.1. При цьому ми намагатимемося уникнути крайнощів. Один із них - "людина проти машини", інший - міметичне мислення (засноване на евристичних алгоритмах). Для цього аналізована структура повинна мати досить великий вплив людини на процес підготовки та прийняття рішень та, з іншого боку, використовувати досить потужні математичні методи.

Вплив людини (ЛПР) на розглянуту систему полягає у можливості вносити деякі зміни у процесі прийняття рішень.

У більшості місць, де діють СППР, процес ухвалення рішень модифікується. Такі втручання передбачають зміни у показниках оцінки, вихідних даних, структурі СППР, цільових функціях тощо. З іншого боку, для підготовки рішень використовуються дискретні математичні методи (теорія графів) та методи оптимізації (модифікований метод гілок та кордонів, метод ієрархічного аналізу). Це забезпечує достатню математичну обґрунтованість одержуваних рішень. Тепер докладніше зупинимося на структурі СППР. У її основі лежить модульний принцип, коли програмна система ділиться різні модулі, виконують вузькоспеціалізовані завдання і мають відносно невеликий обсяг. Такий підхід дозволяє знизити трудовитрати, пов'язані з написанням, налагодженням та остаточним складанням усієї програмної системи. Типова структура СППР показано малюнку 3.1. Головний модуль забезпечує необхідні налаштування для роботи системи, а також надає меню для вибору таких операцій, як введення даних, їх зміна та розрахунок. Після закінчення роботи системи цей блок виконує всі необхідні для цього операції та зупиняє роботу системи. Блок введення даних готує всі вихідні дані, необхідних виконання обчислень. Тому тут запроваджуються вихідні дані нижнього рівня, такі як вартість обладнання, енергозберігаючі заходи, схеми СЕПП(у разі змін) та заходи у відбірковій частині СЕПП, що беруть участь у формуванні процесу прийняття рішень.

Для виконання цих завдань блоки введення взаємодіють з відповідними базами даних, створюючи базу даних

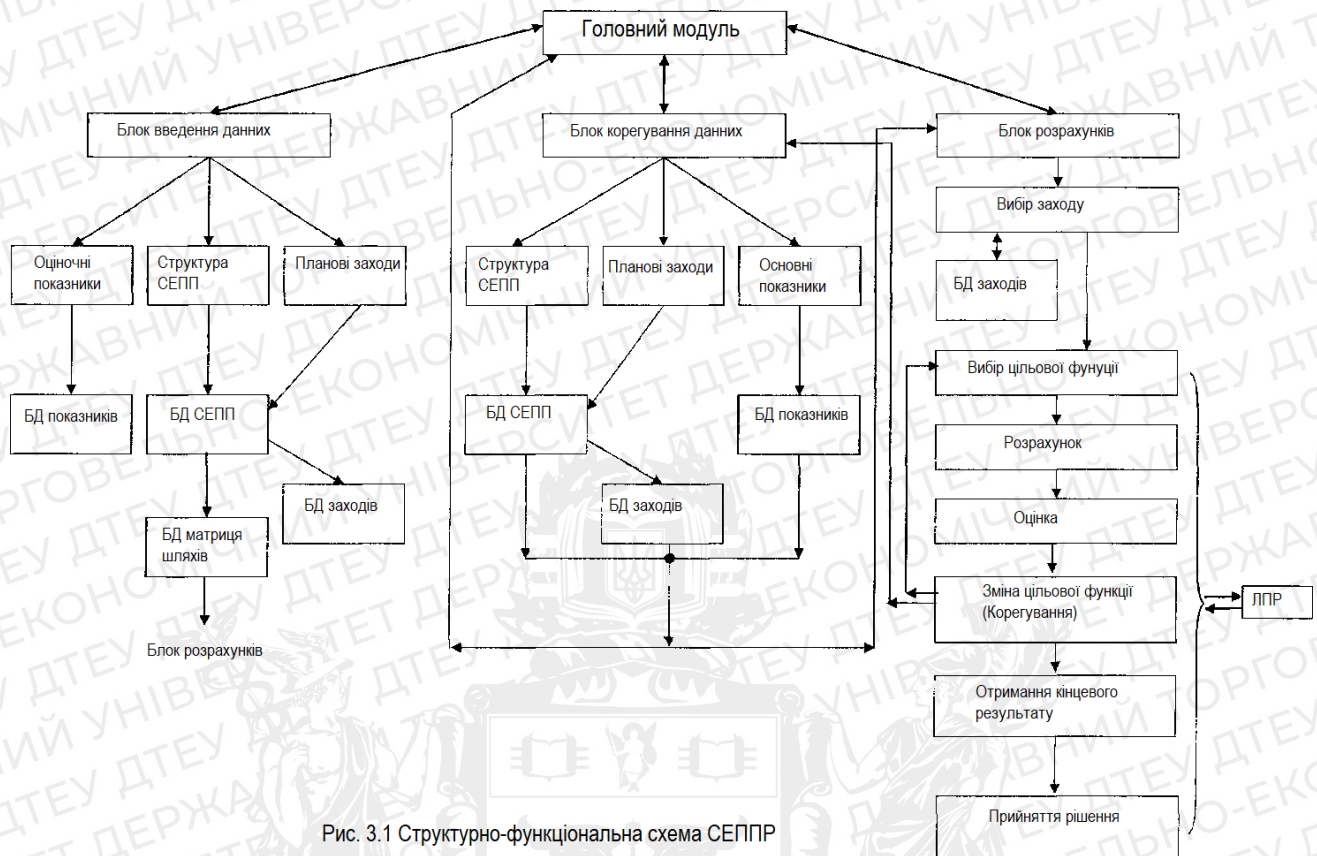


Рис. 3.1 Структурно-функціональна схема СЕППР

запланованих заходів для подальшої оцінки.

Блок "Корегування даних" дозволяє впливати на процес підготовки та прийняття рішень. Для цього блок надає можливість користувачам (мають право доступу до операцій коригування даних та мають достатню кваліфікацію для цього) вносити необхідні зміни, як незалежні від ЛПР (наприклад, зміна вартості обладнання), так і залежні від ЛПР (наприклад, перелік заходів, які необхідно врахувати).

Блок розрахунків є важливим складником СЕППР. Його найважливішими завданнями є налаштування заходів, які будуть розраховані ЛПР для вирішення, вибір при необхідності цільової функції (знижувані витрати, економія, що знижується і т. д.), виконання розрахунку та отримання результатів. Одним із ключових модулів розрахункового блоку є модуль "Розрахунок".

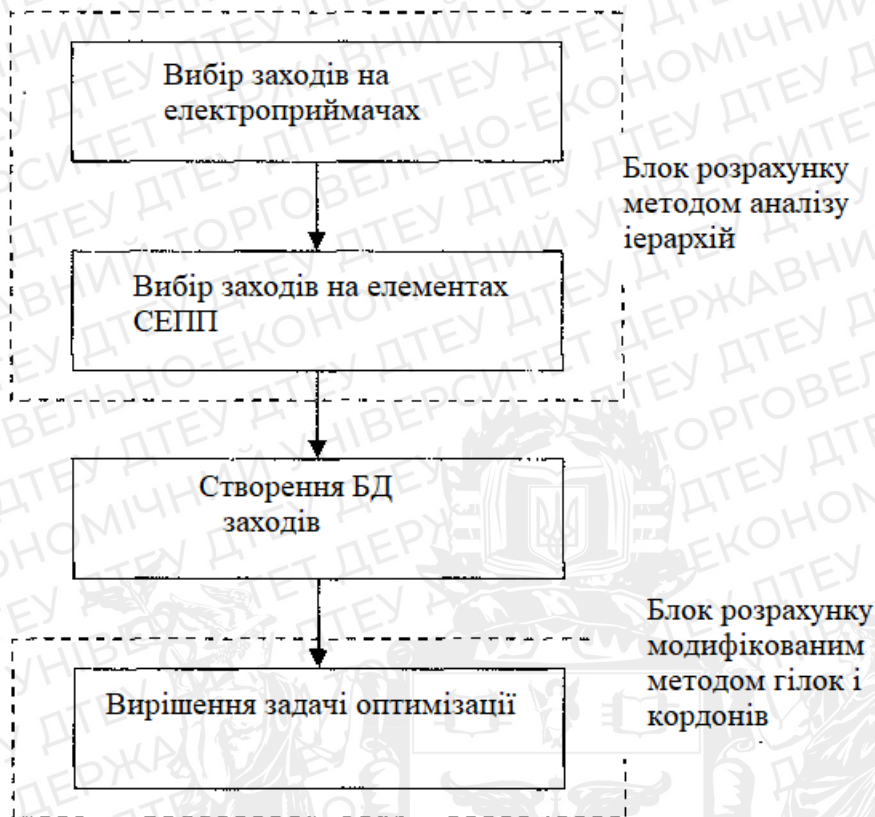


Рис.3.2 Структура розрахункового модуля СППР

ЛПР оцінює отримані результати, змінює функцію чи дані розрахунку, повторює розрахунок, роздруковує результати, якщо ЛПР задоволений, та приймає остаточне рішення. Таким чином, все, починаючи з введення даних і закінчуючи діями виконує ЛПР.

3.3. Основні алгоритми роботи СППР

3.3.1. Алгоритм обробки матриці шляхів

Робота СППР оптимізації втрат електроенергії заснована на широкому використанні інформації, що знаходиться в базах даних різних видів обладнання, проводів, кабелів, заходів з енергозбереження і т.д. Структура баз даних для СППР та їх взаємодія між собою наведені

на рис. 3.3

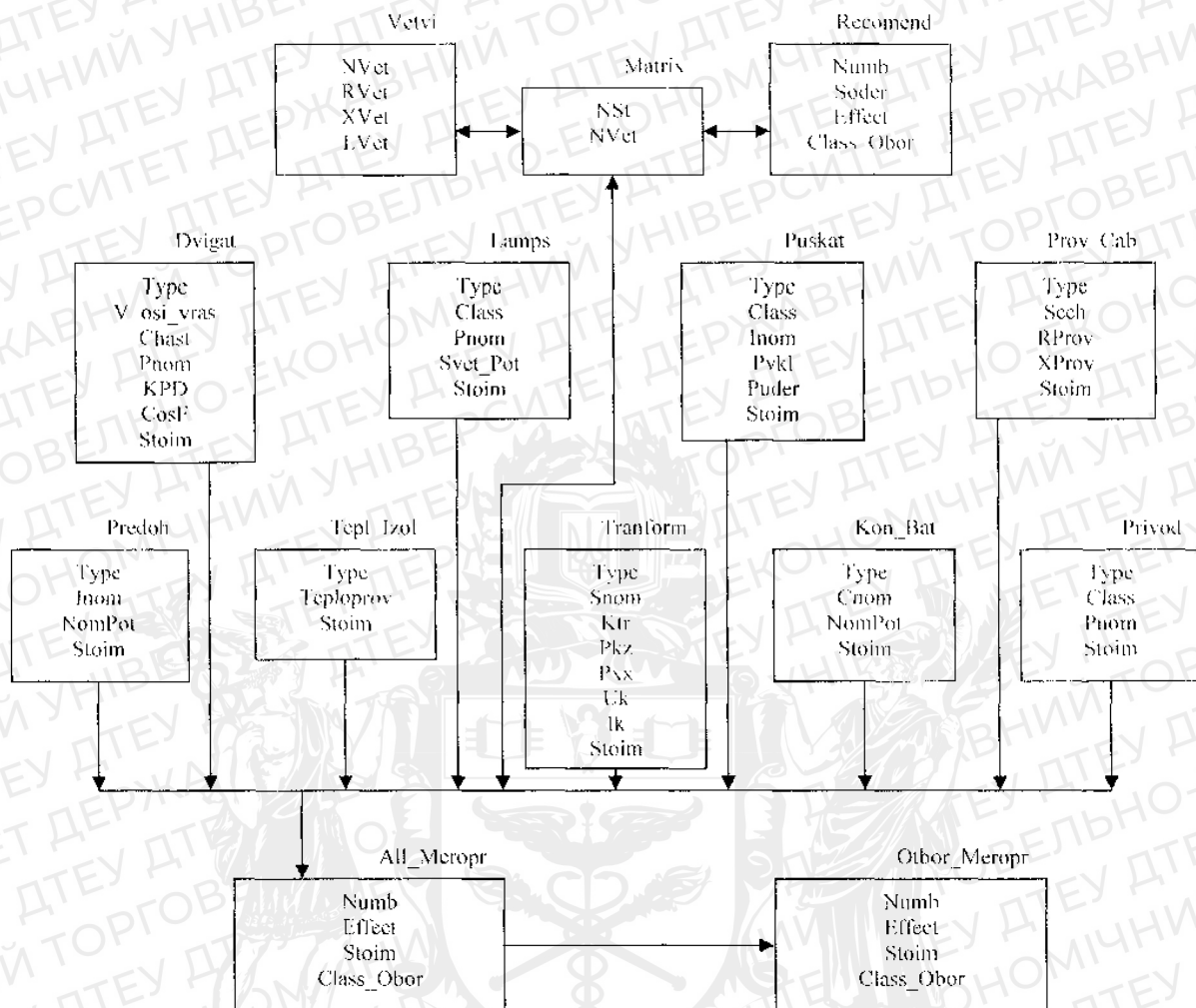


Рис.3.3 Структура бази даних для СППР

Розглянемо уявлення матриці шляхів для наведеного у розділі 2 прикладу (рис. 2.1.) як бази даних (БД). Використання такого способу подання має забезпечувати максимальну зручність обробки інформації, для чого краще застосувати дві бази даних - в одній зберігається сама матриця шляхів, а в другій інформація по гілках схеми (довжини ліній, активні та реактивні опори тощо). Першу БД будемо використовувати одночасно для отримання шляхів по гілках та вузлах схеми (відразу ж визначаються вузли схеми, через які проходить шлях від заданого вузла до вершини та номер гілок, по яких проходить шлях електроенергії. Виходячи з вищесказаного, в першій БД необхідно мати два поля - поле NST, що відповідає номеру рядка і поле NVET, що відповідає номерам гілок у рядку (елементам рядка, відмінним від нуля).

Розглянута база даних міститиме інформацію лише про ненульові елементи матриці шляхів, кожному з яких створюється свій запис. Заповнення БД покажемо на прикладі другого рядка матриці шляхів Р (без службових рядків та стовпців). Для цього рядка від нуля відрізняються тільки перший і другий елементи, отже, необхідно створити два записи, що мають у нулі NST однакове значення - 2, а в полі NVET - значення 1 і 2. З урахуванням цього вся БД матиме вигляд представлений у табл. . 3.1.

Обробка інформації (знаходження шляху по вузлах та гілках) проводиться за наступним алгоритмом:

1. Користувач визначає номер вузла, що його цікавить (наприклад - 4);
2. Здійснюється індексування БД (логічне переупорядкування слідування записів у БД) з перевіркою умови - чи збігається значення у полі NST вибраному номеру вузла. В результаті виконання такої обробки для подальших операцій будуть доступні тільки записи, у яких $NST = 4$ (табл. 3.2);
3. Підраховується кількість записів, доступних тепер для обробки (це число дорівнює - 3);
4. Створюються два масиви, які з трьох елементів. В одному масиві зберігатимуться номери гілок, в іншому - номери вузлів, причому, першому елементу масиву вузлів відразу ж надається значення 0 (номер вершинного вузла);
5. Здійснюється послідовне сканування доступних записів бази даних. Елементом масиву гілок по порядку надаються значення з нуля NVET, за винятком останнього, третього запису. Внаслідок виконання всіх цих дій виходить наступний результат (табл. 3.3):

Таблиця 3.1 Значення полів NST і NVET

NST	NVET
1	1
2	1
2	2
3	1
3	3
4	1
4	2
4	4
5	1
5	2
5	5
6	1
6	3
6	6
7	1
7	3
7	7

Таблиця 3.2 Індексівана база даних

NST	NVET
4	1
4	2
4	4

Таблиця 3.3. База даних вибраного шляху

Масив гілок	Масив вузлів
1	0
2	1
4	2

Таким чином, масив гілок включає всі гілки, що входять в шуканий шлях, а масив вузлів повністю визначає, які вузли знаходяться на дузі від заданого вузла до

вершини схеми. Але знайденим значенням номерів гілок з бази даних, що містить інформацію про опори елементів СЕПП, можна отримати інформацію про значення сумарних активних та реактивних опорів. Використовуючи методики розрахунку втрат потужності на елементах схеми і знаючи ціну електроенергії даний період можна оцінити величину зниження втрат електроенергії.

3.3.2. Алгоритм модифікованого методу гілок та кордонів

Безліч обраних для подальшого розгляду заходів записується до БД. Після цього проводиться зміна порядку чергування записів залежно від зменшення величини ефекту, тобто. на нервовому місці йде запис із максимальним ефектом. Алгоритм модифікованого методу гілок та кордонів є наступною схемою (рис.3.4.).

Метод використовує неповний перебір варіантів, перший варіант реалізується так:

- розрахунок починається з першого запису, запам'ятовуються величини ефекту та вартості заходу (E_1 та C_1);
- відбувається переміщення до другого запису та здійснюється підсумовування значень ефекту та вартості другого запису з попереднього:

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_2;$$

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2; \quad (3.1)$$

- Виконується перевірка:

$$C_{\Sigma} \leq K, \quad (3.2)$$

Де K - об'єм фінансування

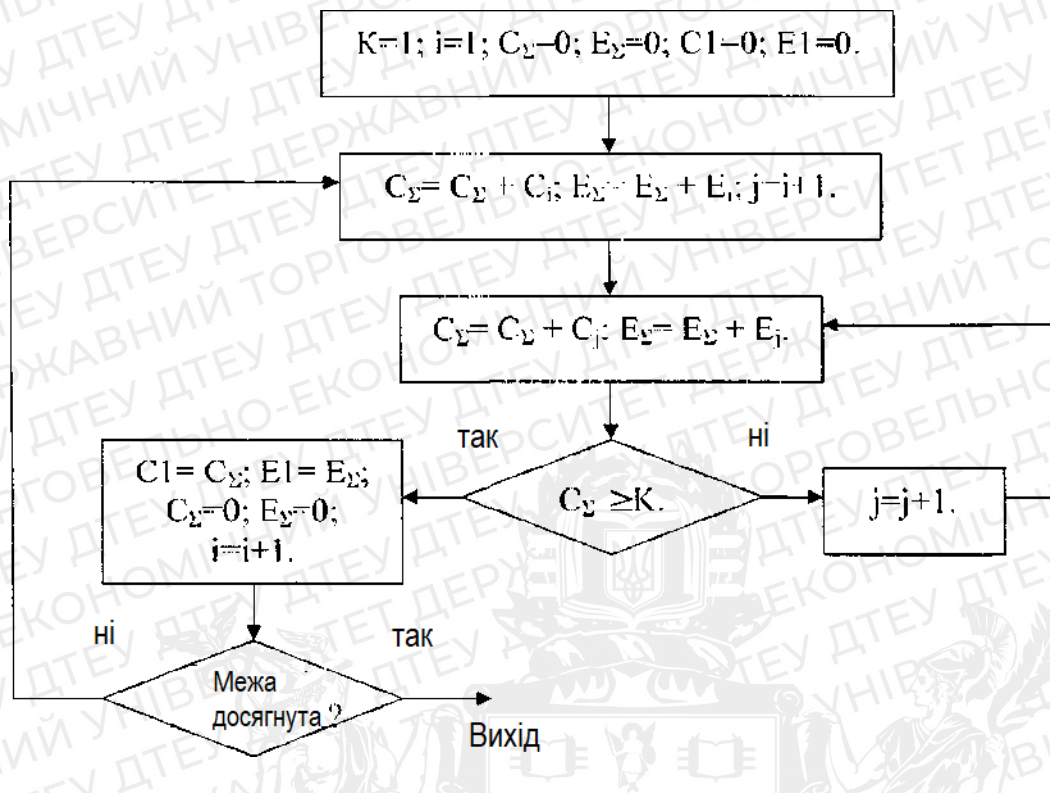


Рис 3.4 Алгоритм модифікованого методу гілок і кордонів

Якщо умова виконується, відбувається переміщення до наступного запису і знову проводиться підсумовування ;

$$E_{\Sigma} = E_{\text{поперед}} + E_i;$$

$$C_{\Sigma} = C_{\text{поперед}} + C_i; \quad (3.3)$$

і так доти, доки не виконається умова

Другий варіант виходить аналогічно першому, але його розрахунок починається з другого запису (перша виключається). Після закінчення розрахунку другого варіанта проводиться порівняння:

$$E_{\Sigma 1} > E_{\Sigma 2},$$

(3.4)

для отримання базового варіанта - у разі базовим є перший варіант.

Якщо виконується така умова:

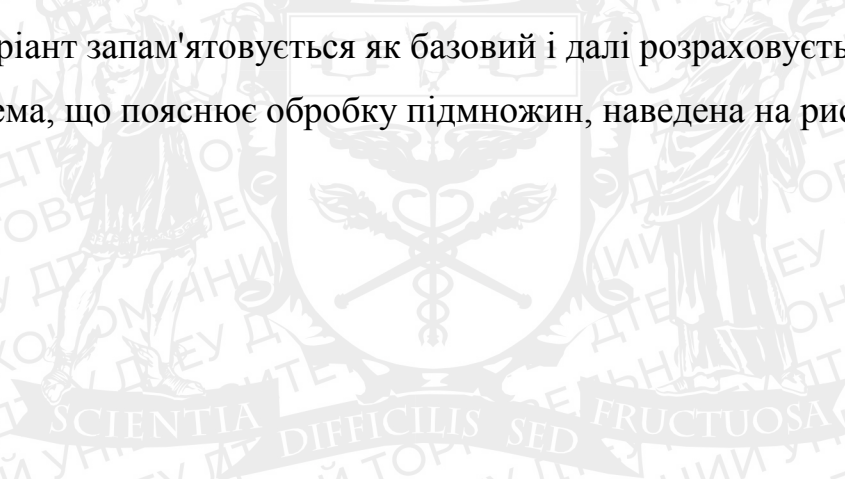
$$E_{\Sigma 1} < E_{\Sigma 2},$$

(3.5)

то як базове запам'ятовується другий варіант.

Далі починаючи з третього запису, розраховується третій варіант і порівнюється за величиною ефекту з базовим і якщо вийде, що $E_{\Sigma 3} > E_{\Sigma \text{БАЗ}}$,

(то цей варіант запам'ятовується як базовий і далі розраховується наступний варіант. Схема, що пояснює обробку підмножин, наведена на рис 3.5.



Записи БД

Варіант 1
(повний)

Записи БД

Варіант 2
(без 1 запису)

Записи БД

Варіант 3 (без 1 і
2 записів)

Рис. 3.5. До методички розрахунку модифікованим методом

Для обмеження обсягу обчислень, у якийсь момент часу необхідно на підставі значення попередньо вибраного показника (нижня межа) зробити зупинку процесу (див. 2.5). Таким чином у СППР проводиться вибір оптимального набору заходів (з максимальним можливим ефектом) за заданого обсягу коштів, що виділяються підприємством на потреби енергозбереження.

3.4. Розрахунок втрат електроенергії

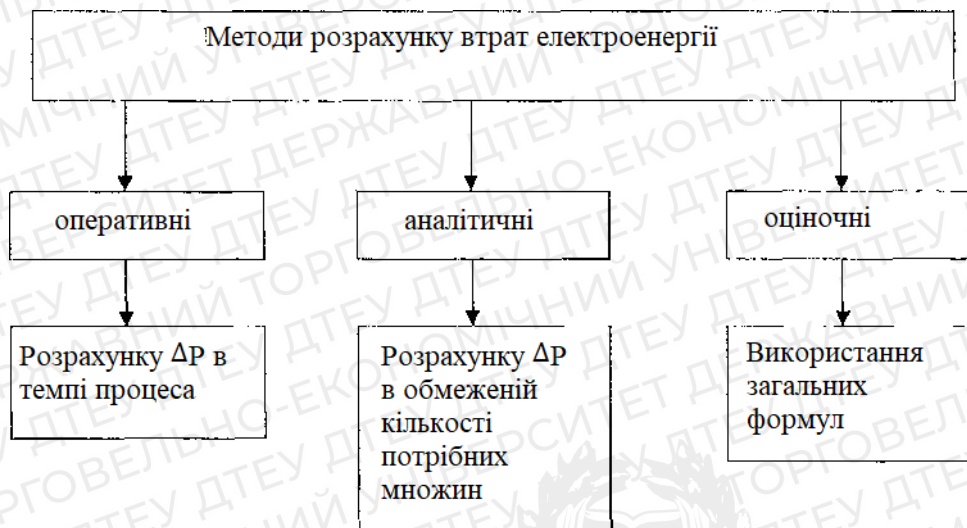
3.4.1. Завдання розрахунку навантажувальних втрат електроенергії

Втрати навантаження активної потужності в елементі мережі з опором R при напрузі U зазвичай визначають за формулою

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R$$

(3.6)

де P і Q - активна та реактивна потужності, що передаються по елементу. У більшості випадків значення P та Q в елементах мережі спочатку невідомі, як правило, відомі навантаження у вузлах мережі (на підстанціях). Метою електричного розрахунку (розрахунку встановленого режиму - УР) у будь-якій мережі є визначення значень P і Q у кожній галузі мережі та даним їх значень у вузлах. Після цього визначення сумарних втрат потужності в мережі є просте завдання підсумовування значень, визначених за цією формулою. Втрати електроенергії в елементах СЕПП визначаються з метою використання їх значень у техніко-економічних розрахунках, а також для знаходження собівартості передачі та розподілу електроенергії в електричних мережах. За наявності інформації про навантаження всіх елементів СЕПП, що надходить на сервер від системи телевимірювань, завдання розрахунку втрат електроенергії зводиться до підсумовування втрат потужності в кожному з режимів, що розглядається, що не становить практичної складності. При цьому слід зважати на те, що засобами телевимірювань оснащені далеко не всі СЕПП. Тому виникає завдання розрахунку втрат електроенергії за той чи інший період часу T на основі розрахунку втрат потужності в обмежену кількість режимів. У цьому випадку знайдені втрати потужності множать на певні тим чи іншим способом додаткові множники, чисельні значення яких розраховуються на основі даних про графіки навантаження.



Мал. 3.6. Класифікація методів розрахунку втрат при навантаженні

3.4.2. Характеристики графіків навантаження

Звичайним припущенням при розрахунку додаткових множників є припущення про суто квадратичної залежності навантажувальних втрат від навантаження. У цьому випадку інтегруючий множник для визначення втрат електроенергії за втратами потужності, розрахований у будь-якому режимі, може бути визначений за формулою :

$$M = \sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot \Delta T / P_p^2 \quad (3.7)$$

де P_i - навантаження на i -му ступені графіка навантаження;

P_p - навантаження ступеня, на яку розраховані втрати потужності ΔP_p ;

n - число шаблів графіка тривалістю ΔT .

Значення M виражається в тих самих одиницях, що і T і фізично є тривалістю розрахункового режиму, протягом якої втрати потужності ΔP_p призведуть до тих же втрат енергії, що і при її споживанні за реальним графіком.

Очевидно, що якщо ΔP_p , розраховано для режиму малого навантаження, то M буде більшим за T . Значення інтегруючих множників у відносних одиницях :

$$M = \sum_{i=1}^T P_i^2 / (P_p^2 \cdot T), \quad (3.8)$$

Як розрахункові режими використовують або режим максимального навантаження, або середнього (визначається на основі показань лічильників). У першому випадку інтегруючий множник T отримав назву числа найбільших втрат. У відносних одиницях його визначаю за формулою :

$$\tau = \sum_{i=1}^T P_i^2 / (P_{max}^2 \cdot T), \quad (3.9)$$

де P_{max} – максимальне навантаження, а метод носить назву – метод найбільших втрат.

У другому випадку інтегруючий множник є добутком T на коефіцієнт форми графіка у квадраті, який визначається за формулою :

$$k^2_{\phi} = \sum_{i=1}^T P_i^2 / (P_{cp}^2 \cdot T), \quad (3.10)$$

де P_{cp} – середнє навантаження.

Цей метод отримав назву методу середніх навантажень. Величини τ

Введіть тут рівняння. $\dot{}$

$$k^2_{\phi} \text{ пов'язані між собою співвідношенням: } - \tau = k^2_3 \cdot k^2_{\phi}, \quad (3.11)$$

де k , коефіцієнт заповнення графіка, що є відносним числом годин максимального навантаження: $k_3 = T_{\max} / T$

Значення τ завжди менше 1, k^2_{ϕ} - більше 1 для графіка з постійним навантаженням $\tau = k^2_{\phi} = 1$. У розрахунках втрат електроенергії використовується значення квадрата коефіцієнта форми графіка. Сам коефіцієнт форми графіка шляхом отримання кореня зазвичай не визначають. У зв'язку з цим у надалі для стислості використовується термін «коефіцієнт форми графіка», під яким розуміється його квадрат. Розрахункові формули для навантажувальних втрат електроенергії двома методами (методи найбільших втрат та середніх навантажень) мають вигляд:

$$\Delta W_n = \Delta P_{\max} \cdot T \cdot \tau$$

$$\Delta W_n = \Delta P_{cp} \cdot T \cdot k^2_{\phi}$$

(3.12)

При виборі способу визначення τ і k^2_{ϕ} слід мати на увазі, що при використанні емпіричних формул застосовують значення k_3 , що відповідає розрахунковому інтервалу в цілому (місяць, рік), а коли хочуть уточнити розрахунок, використовуючи реальний графік навантаження, зазвичай мається на увазі відомий добовий графік робочого дня. При зіставленні показників добового і місячного графіків діють самі співвідношення, як і зі зіставленні місячного і річного. Тому якщо говорити про зіставлення точності розрахунку описаних характерно гик за емпіричними формулами і безпосередньо за графіком, то це має бути графік усіх значень n на періоді T . В іншому випадку до точного значення τ або k^2_{ϕ} визначеного за добовим графіком, повинен застосовуватися коефіцієнт (знижуючий для τ і підвищує для k^2_{ϕ}), значення якого визначається зі зіставлення середньодобового споживання енергії та її споживання у робочу добу.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено інформаційну модель управління СЕПП з урахуванням підпорядкованості та ієрархії окремих структурних підрозділів; розроблено схему управління процесом оптимізації втрат електроенергії на промисловому підприємстві. Запропоновано використання спеціалізованого графа (дерева), що містить характерні точки (вершини) системи електропостачання, дуги графа визначають техніко-економічні заходи економії електроенергії, у запропонованому графі є альтернативний вибір заходів та груповий вибір. Розроблено матрицю шляхів як найбільш зручну форму подання спеціалізованого графа СЕПП, що показано практично шляхом порівняння з іншими формами подання.

2. Запропоновано та обґрунтовано використання для вибору альтернативних заходів методу аналізу ієрархій, що дозволяє отримати більш повну оцінку ефективності запропонованих заходів порівняно зі стандартними методиками.

3. Розроблено математичну модель оптимізації втрат електроенергії в системі електропостачання промислового підприємства, що поєднує в собі методики альтернативного вибору варіантів з деякої множини рішень та пошуку оптимального рішення (кількості варіантів, що мають максимальний ефект при виконанні умови обмежених капітальних вкладень).

4. Запропоновано модифікований метод розрахунку на основі методу гілок та кордонів, що поєднує в собі переваги даного методу та перебірних методів, що дозволяє скоротити час пошуку оптимального рішення.

5. Розроблено структурно-функціональну схему СППР з оптимізації втрат електроенергії, тобто. система, що дозволяє зробити вибір деяких енергозберігаючих заходів зі списку за обмеження щодо фінансування програми енергозбереження на підприємстві. Розроблено програмну реалізацію даної СППР

при широкому використанні баз даних, зокрема, БД обладнання, заходів, показників, матриці шляхів тощо.

6. Розроблено основні алгоритми роботи СППР, що включають алгоритм модифікованого методу гілок і кордонів, алгоритм обробки матриці шляхів і алгоритм розрахунку втрат електроенергії за графіком навантаження трансформаторної підстанції з урахуванням часу роботи і простою.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Т. Л. КАЦАДЗЕ ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ
2. . Беллман Р., Дрейфус С. Прикладні завдання динамічного програмування.
3. Т. Карпалюк КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
4. Борж К. Теорія графів та її застосування. - М: Вид. іностр, літ., 1962.
5. Метьюз Дж. Г. Чисельні методи. Використання MATLAB
6. Нільсон Н. Штучний інтелект. Методи пошуку рішень
7. Сааті Т., Кернс К. Аналітичне планування. Організація систем
8. Сааті Т, Прийняття рішень. Метод аналізу ієрархій
9. Уотермен. Д. Посібник з експертних систем
10. Олссон Г., Піані Г. «Комп'ютерні системи автоматизації та управління»

ДОДАТОК

Приклад реалізації програмного коду

Модуль системи підтримки прийняття рішень

```
#include <QApplication>
#include <QMainWindow>
#include <QMenu>
#include <QMenuBar>
#include <QAction>

class MyMainWindow : public QMainWindow {
    Q_OBJECT

public:
    MyMainWindow(QWidget *parent = nullptr) : QMainWindow(parent) {
        setWindowTitle("ГОЛОВНОЙ МОДУЛЬ СППР");

        QMenu *menu = menuBar()->addMenu("Меню");

        QAction *actionInputData = new QAction("ВВОД ДАННЫХ В БАЗЫ", this);
        connect(actionInputData, &QAction::triggered, this,
            &MyMainWindow::onInputDataClicked);
        menu->addAction(actionInputData);

        QAction *actionAdjustData = new QAction("КОРЕГУВАННЯ ДАННИХ", this);
        connect(actionAdjustData, &QAction::triggered, this,
            &MyMainWindow::onAdjustDataClicked);
        menu->addAction(actionAdjustData);

        QAction *actionPerformCalculations = new QAction("ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ",
            this);
        connect(actionPerformCalculations, &QAction::triggered, this,
            &MyMainWindow::onPerformCalculationsClicked);
        menu->addAction(actionPerformCalculations);
    }

private slots:
    void onInputDataClicked() {
        // Логіка для обробки події введення даних
    }
}
```

```

void onAdjustDataClicked() {
    // Логіка для обробки події коригування даних
}

void onPerformCalculationsClicked() {
    // Логіка для обробки події виконання розрахунків
};

int main(int argc, char *argv[]) {
    QApplication a(argc, argv);
    MyMainWindow mainWindow;
    mainWindow.show();
    return a.exec();
}

```

Модуль розрахунку прийняття рішень

```

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <sstream>
#include <vector>

struct DataRecord {
    int nomer;
    double stoim;
    double effekt;
};

void rash(std::vector<DataRecord>& data, int& R2, std::string& N1, int& j) {
    int K1 = 0;
    double R1 = 0;
    double R = 0;
    double R2_local = 0;
    std::string N;
    for (const auto& record : data) {
        K1 = record.nomer + record.stoim;
        if (record.nomer <= K1) {
            R2_local += record.effekt;
            if (!N.empty()) {
                N += ",";
            }
        }
    }
}

```



```

        N += std::to_string(record.nomer);
    } else {
        Kl = Kl - record.stoim;
    }

    if (R > R1) {
        R1 = R;
        N1 = N;
    }
}

R2 = R2_local;
}

int main() {
    int kl = 0;
    std::cout << "N basy: ";
    std::cin >> kl;

    std::string bd = "dann" + std::to_string(kl);
    std::ifstream inputFile(bd);

    if (!inputFile.is_open()) {
        std::cerr << "Error opening file." << std::endl;
        return 1;
    }

    std::vector<DataRecord> data;
    DataRecord record;

    while (inputFile >> record.nomer >> record.stoim >> record.efeckt) {
        data.push_back(record);
    }

    int K = 0;
    std::cout << "K = ";
    std::cin >> K;

    int R2 = 0;
    std::string N1;

    for (int i = 0; i < kl; ++i) {

```

```

    rash(data, R2, N1, i);
}

std::cout << "ЕФЕКТ - " << R2 << std::endl;
std::cout << "МАССИВ ЗАХОДІВ- " << N1 << std::endl;

return 0;

```

Модуль введення даних

```

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <sstream>

struct Recommendation {
    int numb;
    std::string content;
    double effect;
    std::string equipmentClass;
};

struct Lamp {
    std::string type;
    std::string lampClass;
    int nominalPower;
    int luminousFlux;
    double cost;
};

struct Wire {
    std::string type;
    int section;
    double resistance;
    double reactance;
    double costPerMeter;
};

void inputRecommendations() {
    Recommendation recommendation;
    std::ofstream outputFile("recommend.txt", std::ios::app);

    std::cout << "НОМЕР ЗАХОДУ- ";
    std::cin >> recommendation.numb;

```



```

std::cout << "ЗМІСТ - ";
std::cin >> recommendation.content;
std::cout << "ЕФЕКТ ВІД ЗАХОДУ- ";
std::cin >> recommendation.effect;
std::cout << "КЛАСС ОБЛАДНЕННЯ- ";
std::cin >> recommendation.equipmentClass;

outputFile << recommendation.numb << ' ' << recommendation.content << ' ' <<
recommendation.effect
<< ' ' << recommendation.equipmentClass << '\n';
}

void inputLamp() {
    Lamp lamp;
    std::ofstream outputFile("lamps.txt", std::ios::app);

    std::cout << "ТИП ЛАМПИ - ";
    std::cin >> lamp.type;
    std::cout << "КЛАСС ЛАМПИ - ";
    std::cin >> lamp.lampClass;
    std::cout << "НОМІНАЛЬНА ПОТУЖНІСТЬ, Вт - ";
    std::cin >> lamp.nominalPower;
    std::cout << "СВІТЛОВОЙ ПОТІК, люмен - ";
    std::cin >> lamp.luminousFlux;
    std::cout << "СТОИМОСТЬ, рублей - ";
    std::cin >> lamp.cost;

    outputFile << lamp.type << ' ' << lamp.lampClass << ' ' << lamp.nominalPower
<< ' '
<< lamp.luminousFlux << ' ' << lamp.cost << '\n';
}

void inputWire() {
    Wire wire;
    std::ofstream outputFile("wires.txt", std::ios::app);

    std::cout << "ТИП ДРОТІВ- ";
    std::cin >> wire.type;
    std::cout << "ПЕРЕПІЗ, мм2 - ";
    std::cin >> wire.section;
    std::cout << "R дрiт, Ом/м - ";
    std::cin >> wire.resistance;
}

```

```

std::cout << "X дроти, Ом/м - ";
std::cin >> wire.reactance;
std::cout << "ВАРТИСТЬ, ГРН/м - ";
std::cin >> wire.costPerMeter;

outputFile << wire.type << ' ' << wire.section << ' ' << wire.resistance << '
'
<< wire.reactance << ' ' << wire.costPerMeter << '\n';
}

int main() {
int choice;
std::cout << "ВВЕДЕННЯ ДАНИХ:\n";
std::cout << "1. ВВЕДЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ\n";
std::cout << "2. ВВЕДЕННЯ ЛАМП\n";
std::cout << "3. ВВЕДЕННЯ ДРОТІВ\n";
std::cout << "ОБРАТИ опцію: ";
std::cin >> choice;

switch (choice) {
case 1:
inputRecommendations();
break;
case 2:
inputLamp();
break;
case 3:
inputWire();
break;
default:
std::cout << "Невірний вибір\n";
break;
}

return 0;
}

```