

ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЧЕРЕЗ АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ВТРАТ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ І ТЕПЛОНОСІЯ В СИСТЕМІ

Abstract: In current article the approach to the problem of power supply systems modeling through operation process analysis is presented. On the basis of this approach the tree main targets of power supply systems was built, the place of system's service targets was defined and main parameters, on which base system condition analysis will be done, were presented.

Key words: heat supply, power supply system, modeling, heat losses.

Анотація: У даній статті розглянуто підхід до питання моделювання систем енергопостачання через аналіз процесу їх експлуатації. На основі даного підходу було побудовано дерево основних цілей систем енергопостачання, визначено в ньому місце цілей обслуговування систем і представлено основні параметри, на основі яких буде проводитись аналіз стану системи.

Ключові слова: теплопостачання, системи теплопостачання, моделювання, втрати теплової енергії.

Аннотация: В данной статье рассмотрен подход к вопросу моделирования систем энергоснабжения через анализ процесса их эксплуатации. На основе данного подхода было построено дерево основных целей систем энергоснабжения, определено в нем место целей обслуживания систем и представлено основные параметры, на основе которых будет проводиться анализ состояния системы.

Ключевые слова: теплоснабжение, системы теплоснабжения, моделирование, потери тепловой энергии.

1. Вступ

Задача моделювання систем теплопостачання є однією з ключових на сучасному етапі розвитку не тільки енергетичної промисловості, а й економіки, екології і навіть політики. Це спричинено тим, що Україна має обмежений обсяг власних енергоресурсів, а це змушує вдаватися до імпорту даних ресурсів із Росії та інших країн-імпортерів енергоресурсів. Даний факт не тільки ставить Україну у незручне політичне становище, а також змушує підприємства переглядати підходи до власного енергозабезпечення. Окрема проблема постає перед комунальними підприємствами і підприємствами, які виготовляють власні енергоресурси. А саме, яким чином забезпечити кінцевого користувача енергоресурсом за умови мінімізації кількісних і якісних втрат.

У світі даних проблем знову почали активно розроблятися наукові програми у галузі енергетики, які виявили ряд проблем не стільки у технологіях розробки енергоресурсів, як у засобах їх зберігання і транспортування [1].

При аналізі проблеми постачання теплової енергії можна побачити, що дані задачі не є новими. Так, у роботі [2] розглядався підхід до моделювання теплових мереж через графи, особливості використання комп'ютерної техніки були представлені ще на початку 90-х років минулого століття [3], а окремі розробки вчених по моделюванню енергосистем лягли в основу ряду підручників [4]. Але практично всі існуючі підходи до вирішення даних задач полягають у розробці моделей з точки зору функціонування, розподілу потоків та потужностей і практично не розглядають такі важливі моменти в роботі енергосистем, як їх обслуговування і підтримка у робочому стані окремих вузлів та ділянок системи, своєчасне виявлення й усунення несправностей.

Тому основною метою даної статті є:

1) розробити підхід до моделювання систем енергопостачання, який дозволить враховувати стан системи як в цілому, так і окремих її ділянок, забезпечувати моніторинг експлуатації систем, розробляти план основних заходів при експлуатації систем;

2) визначити місце цілей обслуговування систем енергопостачання у загальному дереві цілей експлуатації систем енергопостачання;

3) визначити основні параметри, на основі яких буде проводитись аналіз стану системи енергопостачання і проаналізувати особливості представлення системи у вигляді графа за умови використання даних параметрів.

2. Моделювання систем енергопостачання з точки зору процесу експлуатації

Згідно з тим, що модель – це деяке тлумачення системи, де суб'єктом моделювання служить сама система, і оскільки модельована система ніколи не існує ізольовано, в методології моделювання підкреслюється необхідність точного визначення меж системи. Модель завжди обмежує свій суб'єкт, тобто точно визначає, що є і що не є суб'єктом моделювання, описуючи те, що входить в систему, і маючи на увазі те, що лежить за її межами. Обмежуючи суб'єкт, модель допомагає сконцентрувати увагу саме на системі, що описується, і дозволяє уникнути включення сторонніх суб'єктів. З визначенням моделі тісно зв'язана позиція, з якої спостерігається система і створюється її модель. Оскільки якість опису системи різко знижується за умови відсутності сфокусованості на окремому елементі чи процесі системи, тому вимагається, щоб модель весь час розглядалася з однієї і тієї ж позиції. Ця позиція називається «точкою зору» даної моделі.

Точка зору визначає основний напрям розвитку моделі і рівень необхідної деталізації. Чітка фіксація точки зору дозволяє спростити модель за рахунок відмови від деталізації і дослідження окремих компонентів, які для даної моделі є неважливими. Правильний вибір точки зору істотно скорочує витрати часових і матеріальних ресурсів на побудову кінцевої моделі.

Можна виділити два типи моделей системи: модель «як є», яка описує існуючі в системі процеси і їх взаємозв'язки, і модель «як повинно бути», яка представляє варіанти модернізації процесів та/чи системи.

Розробка моделі «як є» відповідає таким цілям:

- визначити існуючі в системі процеси і їх взаємний зв'язок;
- одержати вартісні і тимчасові оцінки процесів для їх аналізу і як бази для порівняння з альтернативними варіантами («як повинно бути») при проведенні реструктуризації;
- визначити найкритичніші процеси, які вимагають зміни, виключення або пошуку альтернативних рішень.

Розробка моделі «як повинно бути» переслідує досягнення таких цілей:

- визначити нові процеси пропонувані альтернативних рішень і їх вплив на решту процесів;
- підготувати основу для дослідження альтернативних рішень;
- одержати вартісні і тимчасові оцінки процесів для їх порівняння з базовою моделлю моделі «як повинно бути»;
- проведення пошуку і вибору оптимальних рішень;
- підготувати базу для проведення всебічного аналізу вибраних рішень [5].

Однією з задач, яка вирішується при моделюванні систем теплопостачання, є оцінювання економічної і технологічної ефективності роботи кожної конкретної системи, що характеризується власною сукупністю чинників. Але взагалі їх можна звести до такого списку: продуктивність, паливо, технологічне обладнання, персонал (його кваліфікація і мотивація),

організаційна структура підприємств, схема зовнішніх і внутрішніх фінансових потоків, структура власності, платоспроможність споживачів, особливості ціноутворення.

Розглянемо модель системи енергопостачання з точки зору процесу експлуатації. У загальному вигляді процес експлуатації систем енергопостачання (P) для будь-якого типу моделей можна розглядати як деяку керовану організаційно-технологічну систему (рис. 1).

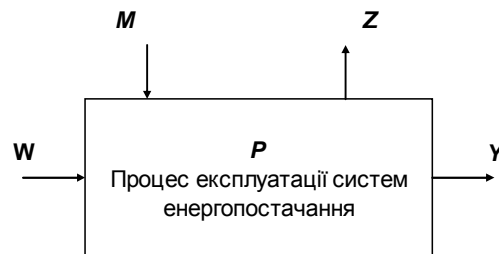


Рис. 1. Представлення процесу експлуатації систем енергопостачання у вигляді керованої організаційно-технологічної системи

До процесу P надходять вхідні сигнали двох видів: управляючі (керуючі) сигнали (управляючі входи) m ($m \in M$, де M – множина управляючих сигналів) і збуджуючі сигнали (збуджуючі входи) ω ($\omega \in \Omega$, де Ω – множина збуджуючих сигналів, які надходять із зовнішнього середовища).

Символом y ($y \in Y$) позначається “вихід” процесу P , і відповідно Y позначає множину виходів процесу P . Тоді процес P з використанням теоретично-множинних термінів [5] може бути представлений у вигляді відображення (1)

$$P: M \times \Omega \rightarrow Y, \quad (1)$$

де \times – символ декартового добутку.

Зворотний зв'язок керованого процесу P з управляючою системою здійснюється за допомогою інформаційних сигналів (сигналів зворотного зв'язку) z ($z \in Z$, де Z – множина інформаційних сигналів). Цей складний процес можна структурувати на основі його декомпозиції по вертикалі і горизонталі. Декомпозиція інтегрованого процесу по вертикалі призводить до його подання у вигляді ієрархії чотирьох керівних процесів: фізичних, організаційно-технологічних, економічних та соціально-політичних [6].

3. Формування цілей організаційно-технологічної системи

Виявлення та формування цілей організаційно-технологічної системи і їх правильна постановка є ключем до ефективного управління. Ціль можна трактувати як бажаний кінцевий результат роботи системи. Цілі визначаються на основі системного аналізу проблеми, структуризації та аналізу керованих процесів, вивчення посадових інструкцій працівників, які обслуговують системи енергопостачання.

В результаті такого аналізу може бути виявлено більше цілей, ніж їх можна реалізувати при наявних ресурсах. Ось чому необхідно провести ранжирування цілей за ступенем їх важливості. Їх можна розділити на три групи: необхідні, бажані, можливі. Але перелік цілей, отриманих у результаті такого аналізу, слід розглядати лише як макет, тимчасовий результат, який необхідно коригувати та уточнювати у процесі подальшої роботи.

Визначимо у загальному вигляді макет першочергових цілей систем енергозабезпечення (рис. 2).

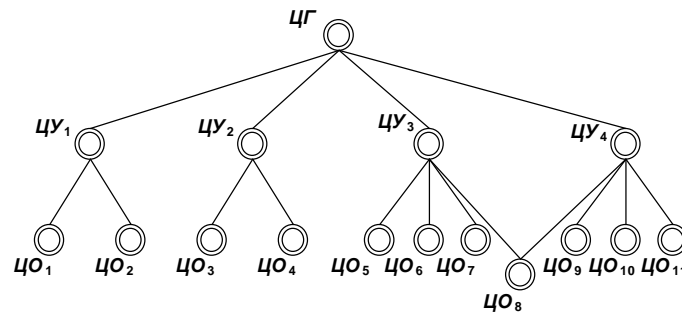


Рис. 2. Структура цілей організаційно-технологічної системи енергопостачання

Головна ціль

ЦГ. Забезпечення кінцевого користувача енергоресурсом.

Узагальнені цілі

ЦУ₁. Оптимізувати витрати палива при виробництві енергоресурсу.

ЦУ₂. Забезпечити дотримання нормативних режимів роботи системи.

ЦУ₃. Мінімізувати втрати енергоресурсу під час передачі кінцевому користувачу.

ЦУ₄. Зменшити час знаходження всієї системи чи її ділянок у неробочому стані.

Основні цілі

ЦО₁. Використовувати сучасні технології виробництва енергоресурсу, обумовлені використанням сучасних автоматичних систем контролю і моніторингу процесу виробництва енергоресурсу.

ЦО₂. Забезпечити заміну старої технічної бази з низьким коефіцієнтом корисної дії.

ЦО₃. Вивести математичні залежності для прогнозування витрат палива на виробництво необхідної кількості енергоресурсу.

ЦО₄. Забезпечити автоматизацію моніторингу передачі енергоресурсу на всіх ділянках мережі енергопостачання.

ЦО₅. Забезпечити своєчасне виявлення ділянок мережі енергопостачання, на яких відбуваються втрати енергоресурсу більше нормативних значень.

ЦО₆. Реалізувати організаційні заходи, які дозволять виявити причини втрати енергоресурсу (залучення висококваліфікованих фахівців, створення експертних груп, використання експертних систем).

ЦО₇. Забезпечити своєчасне усунення причин втрат енергоносія, а за неможливості усунення провести роботи, які дозволять мінімізувати дані втрати.

ЦО₈. Здійснювати підготовку пропозицій і рекомендацій керівництву щодо профілактичних замінів ділянок мережі передачі енергоносія.

ЦО₉. Забезпечити своєчасне виявлення неробочих ділянок мережі енергопостачання.

ЦО₁₀. Реалізувати організаційні заходи, які дозволять виявити причини виходу з ладу системи передачі енергоресурсу (залучення висококваліфікованих фахівців, створення експертних груп, використання експертних систем).

ЦО₁₁. Відновити роботу мережі енергопостачання на протязі часу, який відводиться на відновлення енергопостачання згідно з нормативними актами чи договорами з користувачами.

Згідно з аналізом цілей процесу експлуатації систем енергопостачання (P) можна виділити дві складові даного процесу: процеси використання і процеси обслуговування системи енергопостачання (рис. 3).

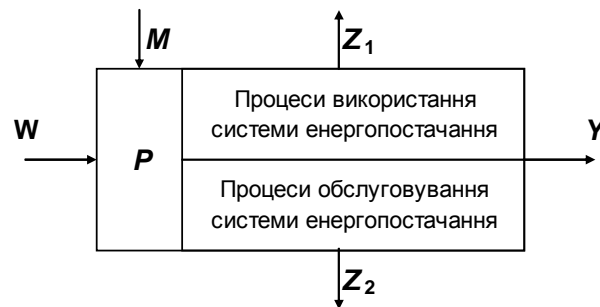


Рис. 3. Виділення двох складових у представленні процесу експлуатації систем енергопостачання

При аналізі процесу експлуатації діючих систем опалення використовується обмежена кількість контролюючих пристроїв, які встановлюються тільки у вузлових точках мережі (наприклад, на центральних теплових пунктах (ЦТП)). Збуджуюча дія на систему складається з багатьох складових. Це кліматичні чинники, такі як температура навколишнього повітря, швидкість і напрям вітру; температура теплоносія з теплових мереж, T_1 ; температура зворотного трубопроводу системи опалювання, T_0 , яка включає всі збурення, пов'язані з системою опалювання. Управляючою змінною є витрата теплоносія з теплових мереж, G . Для аналізу процесів обслуговування використовуються вже описані параметри T_1 , T_0 , та значення об'єму води, яка пройшла через ЦТП у прямому (V_1) та зворотному (V_0) трубопроводах системи опалення.

На сьогоднішній день розроблено сотні систем, які забезпечують автоматизацію експлуатації систем енергопостачання, але жодна не розглядає розробки заходів по виявленню джерел втрат енергоресурсу, а приймають дані втрати як окрему зміну у розрахунках. А процес пошуку ділянок з втратами енергоресурсу проводиться у двох "полюсних" режимах:

1) для нових "дорогих" мереж енергопостачання в автоматичному режимі (дані системи забезпечені вбудованими датчиками, які автоматично можуть забезпечити як виявлення самого факту втрат енергоресурсу, так і місце, де дані втрати набувають максимального значення (джерело втрат));

2) для технічно застарілих чи "дешевих" мереж енергопостачання – в режимі візуального огляду технічними працівниками (методи 30–40-річної давнини).

У Києві, за даними АК "Київенерго", тільки 30% електромереж і 15% тепломереж мають сучасні автоматичні системи контролю, і в найближчі 5-7 років дане відношення не може бути покращене у зв'язку з великими одноразовими грошовими витратами, які не зможуть окупитися у найближчі 10 років. Тобто з кожним роком становище мереж енергопостачання буде тільки погіршуватись. Найбільш скрутне становище відмічається в обслуговуванні систем теплопостачання, де на багатокілометрових ділянках мережі не встановлено жодного датчика, а якщо і встановлені, то вони визначають лише обмежений набір параметрів. Але не дивлячись на даний факт, і досі не активізуються наукові роботи по автоматизації системи енергопостачання на рівні обслуговування. Хоча при визначенні всіх можливих станів ділянки мережі і причин, які до неї

могли призвести, можна використовувати цілий ряд стандартних математичних апаратів підтримки прийняття рішень щодо визначення причин і місця джерела втрат енергоресурсів у мережі. Розглянемо причини виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в реальній тепломережі.

4. Причини виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в системі тепlopостачання

Детальний розгляд систем тепlopостачання дозволив виявити ряд причин, які визивають втрати теплової енергії і теплоносія в системі і провести їх групування. Всі причини втрат теплової енергії можна звести до проблем трьох типів: 1) проблеми в теплових мережах; 2) проблеми на центральних теплових пунктах; 3) проблеми на стороні споживачів [1].

Основна доля втрат припадає на долю проблем у теплових мережах – близько 75% [7]. Більш детально причини втрат у системі тепlopостачання представлено у табл. 1.

Таблиця 1. Причини виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в системі тепlopостачання за рахунок проблем у тепломережі

Ознака втрат	Причини втрат
Втрати тепла в мережі більше норми	Наднормативні витоки теплоносія із системи тепlopостачання Окремі ділянки теплових мереж залиті ґрунтовими водами Порушені лоткові канали, тепла мережа занесена землею Ділянки теплової мережі постійно підтоплюються водою з водопроводу Ділянки теплової мережі підтоплюються фекальними та дощовими водами Порушена або неякісно виконана тепла ізоляція
Підживлення системи тепlopостачання більше норми	Витоки теплоносія у системі Розбір води мешканцями (споживачами) Витоки води в котельній Фізично зношені, амортизовані трубопроводи
Витрата теплоносія в теплової мережі більше норми	Порушена наладка гідравлічного режиму Несправності в елеваторних вузлах Шунтування теплоносія через теплообмінники системи опалення, гарячого водопостачання, елеваторні вузли або перемички на ЦТП
Неякісне опалення будівель, розміщених у кінці теплової мережі	Порушена наладка гідравлічного режиму Недостатня продуктивність та недостатній напір мережевих насосів

Даний аналіз є першим етапом при моделюванні процесу обслуговування теплових мереж будь-якої топології і рівня складності.

5. Представлення тепломережі у вигляді графа

На другому етапі моделювання будується граф G тепломережі, який представляється двома взаємопов'язаними графоутворюючими множинами: множиною X вершин і множиною V ланок, де вершинами є точки розгалуження трубопроводів, а кожна ланка представляє ділянку трубопроводу і визначається парою вершин $(x_k; x_i)$ (рис. 4).

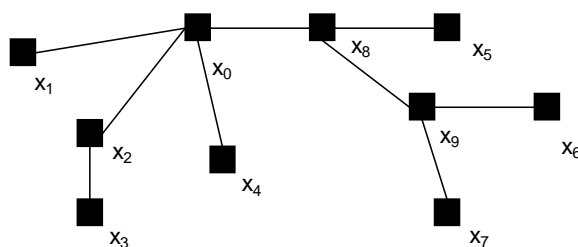


Рис. 4. Представлення тепломережі у вигляді графа

У зв'язку з обмеженими можливостями при встановленні контролюючих приладів на деяких вузлах вони відсутні. Тому на графі можна виділити вершини двох типів: P – множина вершин з контролюючими приладами, E – множина вершин без контролюючих приладів. Перемалюємо граф тепломережі з урахуванням даного виділення двох типів вершин (рис. 5 – незамальовані вершини належать множині E).

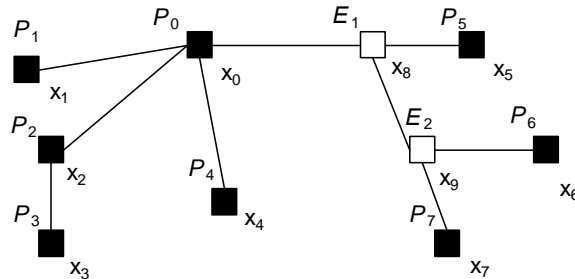


Рис. 5. Виділення на графі вершин без контролюючих пристроїв

На відміну від стандартного підходу до моделювання тепломереж кожна ділянка є лише описанням станів теплопроводу, які визначаються додатковою інформацією про частоту поривів даної ділянки, її місцерозташування (над землею, під землею), тип труб тощо. Дана додаткова інформація дозволяє визначити причини втрат енергоресурсу на основі аналізу даних не тільки контрольних пристроїв, а також з урахуванням стану тепломережі на протязі часу.

Тому на третьому етапі кожна безконтрольна ділянка мережі (ділянка, на якій не розташовані контрольні пристрої) розбивається на рядок "підділянок" за рівнем інформативності додаткової інформації, яка використовується при аналізі мережі. На рис. 6 зображено представлення кожної ділянки двотрубної системи тепlopостачання.

Кожна ділянка $P_i P_j$ розбивається на дві частини: прямий трубопровід (індекс 1) і зворотний трубопровід (індекс 2). Кількість підділянок визначаються у змінній L . Тоді k_{ijl}^1 описує стан прямого трубопроводу l -ої підділянки ділянки $P_i P_j$, а k_{ijl}^2 - зворотного трубопроводу l -ої підділянки ділянки $P_i P_j$. Кількість станів підділянок прямого (k_{ijl}^1) і зворотного (k_{ijl}^2) трубопроводів обмежується величиною E (максимальна кількість типів додаткової інформації про стан теплопроводу). Наприклад, при описанні першого стану теплопроводу, який відноситься до його місцерозташування (над землею, під землею), можна використати бінарні числа: 0 – під землею, 1 – над землею.

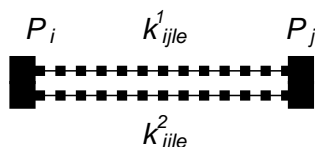


Рис. 6. Розбиття ділянки на рядок підділянок за рівнем інформативності

Але більшість показників описання станів теплопроводу мають нечітку чи слабоформалізовану структуру, тому є доречним використання апарату нечіткої логіки для описання станів теплопроводу і аналізу стану тепломережі.

До того ж при малому обсязі додаткової інформації про стан теплопроводів даний підхід показує погані результати щодо достовірності результатів аналізу. Але при наповненні бази даних системи про кількість підділянок на кожній ділянці тепломережі стани даних підділянок і додатковою

інформацією (частота поривів ділянки, місцезонаштування, тип труб тощо) та ін. достовірність буде значно підвищено. Задача початкового наповнення бази даних не є такою нерозв'язною, як здається на перший погляд, тому що на перших етапах можна скористатися інформацією про ремонт ділянок тепломережі, показники втрат теплової енергії і теплоносія зі звітів і документації, які ведуться відділом експлуатації даної тепломережі.

6. Висновки

Огляд питань моделювання систем енергопостачання виявив ряд недоліків існуючих систем автоматизації, які здебільшого забезпечують моделювання процесів використання мереж енергопостачання і практично ігнорують автоматизацію процесів, пов'язаних з обслуговуванням систем.

Розробка підходу до оцінки стану мережі енергопостачання через оцінку причин втрат енергоносія може за рахунок мінімальних грошових і трудових вкладень, шляхом покращання якості обслуговування підвищити ефективність використання систем енергопостачання.

Застосування даного підходу при моделюванні системи енергопостачання може мати такі позитивні наслідки для користувачів:

- можливість застосування єдиної методики для аналізу стану теплової мережі;
- наочність, прозорість і стислість результатів, які представляються;
- передумови для впровадження систем контролю якості;
- можливість використання в оперативному режимі для швидкісного виявлення місця і причини втрат теплової енергії чи теплоносія;
- можливість використання апарату нечіткої логіки, що дозволить зменшити вимоги не тільки до достовірності (наповненості) вихідних даних, а також і до професійних якостей працівників, які будуть використовувати побудовану за даним підходом автоматизовану систему.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гафаров А.Х. Анализ эффективной и надежной работы системы теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 5. – С. 25–30.
2. Волкова Е.А. Моделирующие графы тепловых сетей // Проблемы энергосбережения. – Киев: Наукова думка, 1989. – Вып. 1. – С. 73–75.
3. Монахов Г.В., Войтинская Ю.А. Моделирование управления режимами управления тепловых сетей. – М.: Энергаториздат, 1995. – 221 с.
4. Кулагин С.М. Проектирование систем теплоснабжения с применением персональных ЭВМ: Учеб. пособие / С.М. Кулагин, С.В. Масленников. – Иваново, 1993. – 104 с.
5. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых технологий / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
6. Інформаційна система управління медико-біологічними процесами / О.А. Волков, Є.Б. Артамонов та ін. – Київ: Медиком МНІЦ БІО-ЕКОО, 2000. – 300 с.
7. Пашенко Е.И. Анализ причин снижения ресурса тепловых сетей // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 12 (28). – С. 33–35.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2007