

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Паночишин Юрій Миколайович

УДК 681.5:[697.33+697.34]

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛОМ
В МЕРЕЖАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

01.05.02 – Математичне моделювання
та обчислювальні методи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Дубовой Володимир Михайлович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри комп'ютерних систем управління

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електричних станцій та систем

доктор технічних наук, професор
Ладанюк Анатолій Петрович,
Національний університет харчових технологій, м. Київ,
завідувач кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Провідна установа: Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматики та телемеханіки,
Міністерство освіти і науки України, м. Львів

Захист відбудеться “___” _____ 2005 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “___” _____ 2004 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Теплопостачання переважної більшості житлових будинків та промислових об'єктів в містах нашої країни забезпечується мережами теплопостачання (МТ). Основною метою функціонування МТ є забезпечення споживачів теплом у точній відповідності з їх поточними тепловими навантаженнями. При цьому вказана мета має досягатися з максимально можливою ефективністю, що здійснюється шляхом комплексного розв'язання великої кількості режимно-технологічних задач у всіх ланках технологічного процесу теплопостачання, починаючи від виробництва тепла і закінчуючи споживанням.

В МТ з розгалуженою мережею трубопроводів і великою кількістю споживачів велике значення для ефективної роботи МТ має задача керування поточкорозподілом з метою оптимального розподілу тепла між споживачами. Сьогодні розв'язання такої задачі в усіх МТ незалежно від їх розміру та кількості підключених споживачів здійснюється методом наладки, основна ідея якого полягає в забезпеченні у кожного споживача постійної витрати теплоносія шляхом встановлення у нього постійного гідравлічного опору. Практична реалізація такого методу передбачає точне знання характеристик всіх трубопроводів, їх незмінність в процесі експлуатації, постійність теплових навантажень споживачів.

Однак на практиці забезпечити такі умови дуже важко внаслідок підключення нових споживачів, аварійного відключення окремих ділянок трубопровідної мережі, зміни гідравлічних характеристик трубопроводів та теплоспоживальних установок в процесі експлуатації, а також необґрунтованих втручань обслуговуючого персоналу і мешканців будинків в роботу технологічного обладнання. Об'єктивно складна задача керування поточкорозподілом ускладнюється також безперервною зміною теплових навантажень споживачів внаслідок зміни метеорологічних умов, роботи установок гарячого водопостачання і вентиляції. Свій відбиток накладають також значні втрати тепла в МТ через низьку якість теплоізоляції.

В результаті, в МТ встановлюється незадовільний, з точки зору кінцевих споживачів, гідравлічний та тепловий режим, через що одні споживачі відчувають гострий дефіцит тепла, а інші – страждають від перегріву.

Істотне покращення ситуації може бути забезпечене за рахунок створення систем керування поточкорозподілом, тим більше, що в інших трубопровідних мережах – водо- та газопостачання – подібні системи створені і успішно функціонують. Проекти створення систем керування поточкорозподілом у свій час розроблялися в деяких містах нашої країни і для МТ, але вони не були доведені до етапу технічної реалізації.

Підставою для розробки теми є недостатньо високий рівень наукових розробок в області керування поточкорозподілом в МТ, в результаті чого не може бути забезпечена висока ефективність функціонування МТ. Необхідність проведення дослідження за темою дисертаційної роботи обґрунтовується її економічною і соціальною значимістю та низьким рівнем автоматизації процесів поточкорозподілу в МТ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати наукових розробок та експериментальних

досліджень, які проводилися протягом 2000-2004 років на кафедрі комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету. Протягом 2000 і 2001 років наукові розробки проводилися в рамках написання магістерської дисертації, яка була захищена восени 2001 р. Протягом 2001-2004 років наукова робота проводилася відповідно до науково-дослідної держбюджетної теми "Розробка теорії та алгоритмічних засобів моделювання та дослідження систем в умовах невизначеності" №46-Д-254 (номер державної реєстрації 0102U002258).

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є підвищення ефективності систем керування поточкорозподілом в МТ.*

Для досягнення вказаної мети в роботі розв'язуються такі основні *задачі*:

- аналіз сучасного стану моделювання систем керування МТ;
- розробка математичної моделі системи керування поточкорозподілом в МТ;
- розробка методу математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ;
- розробка математичної моделі оптимізації поточкорозподілу в МТ;
- розробка алгоритмів визначення оптимальної кількості та складу вимірювальних приладів в системах керування поточкорозподілом в МТ;
- розробка алгоритму оптимізації поточкорозподілу в МТ;
- дослідження адекватності розроблених математичних моделей та обчислювальної ефективності запропонованих алгоритмів;
- розробка методики проектування та оптимізації систем керування поточкорозподілом в МТ;
- розробка програмного забезпечення для моделювання та оптимізації керування поточкорозподілом в МТ.

Об'єкт дослідження – процес поточкорозподілу в МТ.

Предмет дослідження – математичні моделі визначення стану та керування поточкорозподілом в МТ.

В дисертаційній роботі використані такі *методи дослідження*:

- положення і методи теорії графів, матричної алгебри, теорії оцінювання, теорії керування складними системами для розробки математичної моделі системи керування поточкорозподілом в МТ;
- методи теорії оцінювання і теорії ймовірностей для розробки методу математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ;
- обчислювальні методи та методи математичного програмування для розробки математичної моделі оптимізації поточкорозподілу в МТ;
- методологія імітаційного моделювання на ЕОМ для дослідження адекватності розроблених математичних моделей та обчислювальної ефективності запропонованих алгоритмів.

Наукова новизна одержаних результатів. В ході розв'язання поставлених задач були отримані нові наукові результати:

1. Розроблено математичну модель системи керування поточкорозподілом в МТ, яка, на відміну від існуючих моделей, узагальнює математичні моделі збору та передачі інформації, обробки інформації, вироблення керувального впливу, реалізації керувального впливу.

2. Запропоновано новий метод математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ, який базується на загальних принципах оцінювання за методом найменших квадратів і використовує авторегресійну модель прогнозу параметрів поточкорозподілу. На відміну від існуючих метод дозволяє врахувати неодноразовість вимірювань параметрів та експертні оцінки параметрів, що не підлягають вимірюванню.

3. Розроблено математичну модель оптимізації поточкорозподілу в МТ, яка, на відміну від відомих математичних моделей, дозволяє врахувати втрати тепла в трубопроводах МТ і втрати, пов'язані з неоптимальним розподілом тепла між споживачами.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Розроблено алгоритми визначення оптимальної кількості та складу вимірювальних приладів в системах керування поточкорозподілом в МТ.

2. Розроблено алгоритм оптимізації поточкорозподілу в МТ, який базується на методах пошукової оптимізації і використовує ітераційну процедуру розрахунку поточкорозподілу.

3. Розроблено методику проектування та оптимізації систем керування поточкорозподілом в МТ.

4. Розроблено програмне забезпечення для моделювання та оптимізації керування поточкорозподілом в МТ.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені на ЗАТ “Утерм” (м. Вінниця) та у навчальний процес кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету. Впровадження результатів дисертаційних досліджень підтверджені відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які складають основний зміст дисертації, отримані здобувачем самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить розробка математичної моделі поточкорозподілу в МТ [2], розробка методу математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ [4], підхід до визначення оптимальної кількості вимірювальних приладів [10], алгоритми та програмні модулі для моделювання та оптимізації керування поточкорозподілом в МТ [5].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 11 науково-технічних конференціях: на Міжнародній науково-технічній конференції “Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології” (м. Вінниця, 2001 р.); на I Всеукраїнській науково-технічній конференції аспірантів і студентів “Автоматизація технологічних об'єктів і процесів. Пошук молодих” (м. Донецьк, 2001 р.); на Міжнародній конференції з моделювання MS'2001 (м. Львів, 2001 р.); на VI і VII Міжнародних науково-технічних конференціях “Контроль і управління в складних системах” (м. Вінниця, 2001 р. і 2003 р.); на третій міжнародній конференції “Інтернет. Освіта. Наука” (м. Вінниця, 2002 р.); на 11-ій міжнародній конференції з автоматичного управління “Автоматика – 2004” (м. Київ, 2004 р.); на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників і студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2001-2004 рр.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 праць, в тому числі 4 статті надруковано у фахових виданнях, затверджених ВАК України, 2 роботи опубліковані в збірниках матеріалів конференцій, а також надруковано 3 тези доповідей та отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації складає 209 сторінок, з яких основна частина складає 128 сторінок. Дисертація містить 40 рисунків, 2 таблиці, 10 додатків, список використаних джерел із 129 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі досліджень. Також наведено характеристики об'єкта і предмету досліджень, викладено основні наукові та практичні результати, наведено відомості про впровадження результатів роботи, їх апробацію та публікацію.

У **першому розділі** на основі аналізу літературних джерел та останніх публікацій за напрямом дисертаційних досліджень вводяться основні вихідні положення, обґрунтовується вибір предмету досліджень і формулюються задачі досліджень.

До вихідних положень відносяться наступні. Технологічна структура будь-якої МТ формується з трьох основних складових: джерела тепlopостачання, основним призначенням якого є виробництво тепла; великої кількості споживачів тепла, які витрачають тепло відповідно до своїх потреб; трубопроводів, які призначені для транспортування тепла та розподілу його між споживачами. Розглянуто призначення, обладнання і технологічні задачі основних складових МТ, які характеризують їх як технологічний об'єкт керування.

Проведений аналіз сучасних МТ показав, що для них властиві ознаки складних систем: велика розмірність, яка пов'язана із значною територіальною розгалуженістю та великою кількістю елементів, що формують структуру МТ; наявність зовнішніх та внутрішніх збурень стохастичного характеру; складність отримання точної математичної моделі поточкорозподілу; нестационарність реальних МТ; неможливість відтворення експериментів, яка проявляється в різній реакції МТ на один і той же керувальний вплив в різні моменти часу.

Наявність чітко виражених структурних елементів, а також складність МТ стали основною причиною того, що системи керування такими об'єктами будують на основі трьох систем (рис. 1): системи керування виробництвом тепла, системи керування поточкорозподілом і системи керування споживанням тепла. При цьому найслабшою ланкою, як стверджується в останніх публікаціях, є системи керування поточкорозподілом: в більшості МТ вони відсутні взагалі або ж їх робота є неефективною, що негативно позначається на якості забезпечення споживачів теплом. Такий стан можна пояснити недостатньо високим рівнем наукових розробок в області керування поточкорозподілом в МТ, в результаті чого не може бути забезпечена висока ефективність функціонування МТ.

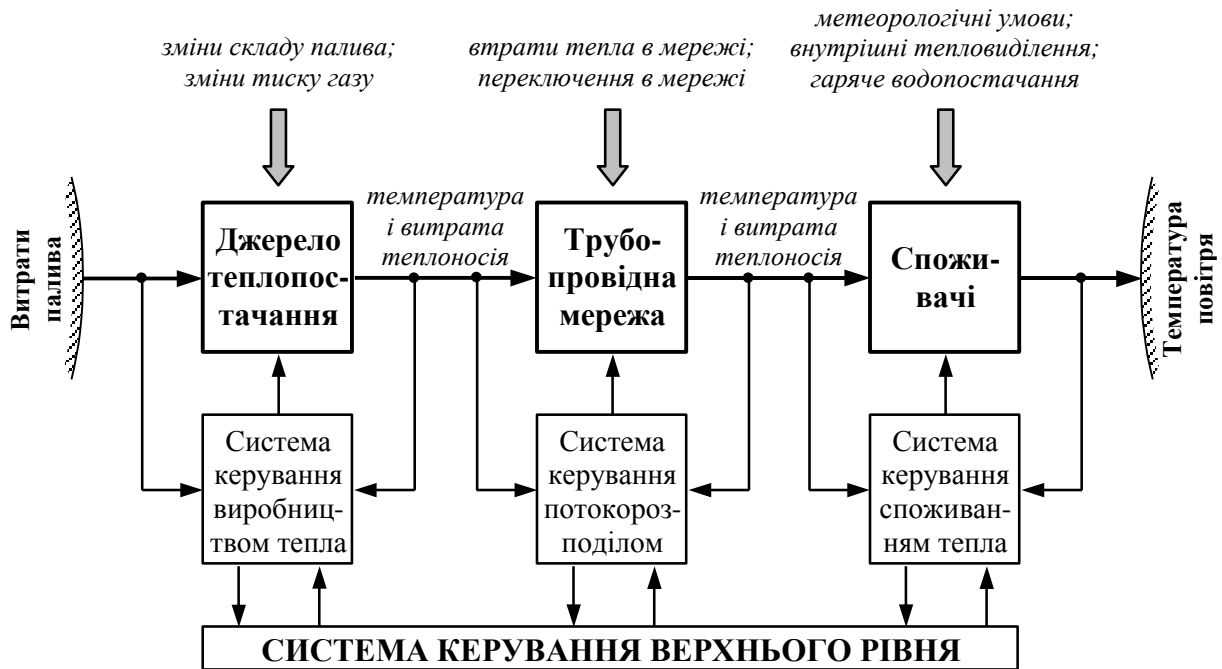


Рис. 1. Взаємодія мережі теплопостачання з системою керування та зовнішнім середовищем

Аналіз відомих методів керування поточкорозподілом та математичних моделей систем керування поточкорозподілом в МТ засвідчив їх частковий характер та відсутність загальних підходів до моделювання всіх складових таких систем, які б включали мережу теплопостачання, вимірювальні прилади та керувальні органи, алгоритми обробки інформації та формування керувальних впливів.

Викладене вище і визначило зміст наукових досліджень, вказаний в задачах досліджень.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі системи керування поточкорозподілом в МТ та методу математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ.

Відповідно до мети дисертаційної роботи сформульовано поняття ефективності та запропоновано критерій оцінки ефективності систем керування поточкорозподілом в МТ, а також формалізовано задачу підвищення ефективності систем керування поточкорозподілом в МТ. В якості критерію оцінки ефективності систем керування поточкорозподілом в МТ прийнято суму двох складових: витрат на створення та експлуатацію системи керування B_1 і витрат, пов'язаних з неефективним керуванням поточкорозподілом в МТ B_2 . До витрат B_1 включено капітальні витрати на створення системи керування B_k , віднесені до одного року запланованого терміну роботи системи керування T_z , і щорічні витрати на експлуатацію системи керування B_n (поточні витрати). В свою чергу, до витрат B_2 віднесено прямі економічні витрати через втрати тепла у трубопроводах B_{mp} і непрямі економічні витрати, пов'язані з неоптимальним розподілом тепла між споживачами B_{cn} , де під оптимальним розуміється такий розподіл тепла, при якому

кожен споживач отримує ту кількість тепла, яка відповідає його поточному тепловому навантаженню.

З урахуванням введених позначень критерій оцінки ефективності систем керування поточкорозподілом в МТ представлено у вигляді:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{1}{T_3} B_\kappa + B_n + B_{mp} + B_{cn} = \\
 &= \frac{1}{T_3} \left(\sum_{i=1}^{T_6} C_{1i} N_{\epsilon i} + \sum_{j=1}^{T_\kappa} C_{2j} N_{\kappa j} \right) + \sum_{i=1}^{T_6} C_{3i} N_{\epsilon i} + \sum_{j=1}^{T_\kappa} C_{4j} N_{\kappa j} + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{T_6} \sum_{k=1}^{N_{\epsilon i}} C_{5ik} \tau_{3\epsilon ik} M_{1ik} + \sum_{j=1}^{T_\kappa} \sum_{k=1}^{N_{\kappa j}} C_{6jk} \tau_{3\epsilon jk} M_{2jk} + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{N_{mp} 1/T_3} \int_0^{N_{mp} 1/T_3} C_7 \Theta_{mpi}(\tau) d\tau + \sum_{j=1}^{N_{cn} 1/T_3} \int_0^{N_{cn} 1/T_3} C_8 \left| \Theta_{cnj}^*(\tau) - \Theta_{cnj}(\tau) \right| d\tau, \quad (1)
 \end{aligned}$$

де T_6 і T_κ – кількість типів відповідно вимірювальних приладів і керувальних органів; $N_{\epsilon i}$ і $N_{\kappa j}$ – загальна кількість відповідно вимірювальних приладів i -го типу і керувальних органів j -го типу; C_{1i} і C_{2j} – сумарна вартість придбання та встановлення відповідно вимірювального приладу i -го типу і керувального органу j -го типу (включаючи вартість придбання та прокладання ліній зв'язку від вимірювального приладу (керувального органу) до вузла передачі даних); C_{3i} і C_{4j} – вартість ремонту та обслуговування відповідно вимірювального приладу i -го типу і керувального органу j -го типу протягом одного року (усереднена величина); C_{5ik} і C_{6jk} – плата за користування каналом зв'язку відповідно з k -им вимірювальним приладом i -го типу і з k -им керувальним органом j -го типу; $\tau_{3\epsilon ik}$ і $\tau_{3\epsilon jk}$ – середній час, протягом якого зайнятий канал зв'язку відповідно для k -го вимірювального приладу i -го типу і для k -го керувального органу j -го типу; M_{1ik} і M_{2jk} – загальна кількість сеансів зв'язку в рік відповідно з k -им вимірювальним приладом i -го типу і k -им керувальним органом j -го типу; N_{mp} – загальна кількість трубопроводів МТ; C_7 – вартість одиниці тепла; Θ_{mpi} – кількість тепла, яка втрачається в i -му трубопроводі; N_{cn} – загальна кількість споживачів тепла в МТ; C_8 – економічні втрати, яких зазначає теплостачальна організація через невідповідність поточних і необхідних обсягів тепла у споживачів; Θ_{cnj}^* і Θ_{cnj} – відповідно необхідна і поточна кількість тепла (поточне теплове навантаження) для j -го споживача; τ – час.

Крім критерію (1), до задачі підвищення ефективності системи керування поточкорозподілом в МТ включено обмеження, які накладаються на область допустимих рішень задачі. Ці обмеження розділено на три групи:

1) обмеження у вигляді співвідношень між основними параметрами математичної моделі системи керування поточкорозподілом в МТ:

$$\mathbf{F}(\mathbf{W}, \mathbf{R}, \mathbf{V}, \mathbf{U}, \mathbf{E}) = 0, \quad (2)$$

де \mathbf{W} – вектор параметрів системи керування поточкорозподілом в МТ розмірністю w ; \mathbf{R} – вектор параметрів МТ розмірністю r ; \mathbf{V} – вектор вимірюваних параметрів МТ розмірністю $v = \sum_{i=1}^{T_g} N_{\delta i} < r$ ($\mathbf{V}[v] \subset \mathbf{R}[r]$); \mathbf{U} – вектор керованих параметрів МТ розмірністю $u = \sum_{j=1}^{T_k} N_{\kappa j} < r$ ($\mathbf{U}[u] \subset \mathbf{R}[r]$); \mathbf{E} – вектор похибок розмірністю e , який включає похибки вимірювання, моделювання, оптимізації та керування;

2) обмеження, пов'язані з технічними характеристиками системи керування поточкорозподілом в МТ

$$\mathbf{W}_{\min} \leq \mathbf{W} \leq \mathbf{W}_{\max}, \quad (3)$$

де \mathbf{W}_{\min} і \mathbf{W}_{\max} – відповідно нижні і верхні межі діапазонів зміни технічних параметрів системи керування поточкорозподілом в МТ \mathbf{W} ;

3) технологічні обмеження, які визначають для кожного елемента МТ мінімально і максимально можливі значення напору, температури, витрати та інших технологічних параметрів:

$$\mathbf{R}_{\min} \leq \mathbf{R} \leq \mathbf{R}_{\max}, \quad (4)$$

де \mathbf{R}_{\min} і \mathbf{R}_{\max} – відповідно нижні і верхні межі діапазонів зміни параметрів МТ \mathbf{R} .

Таким чином, задача підвищення ефективності системи керування поточкорозподілом в МТ є оптимізаційною задачею, яка формулюється так: знайти мінімум функції втрат (1) при обмеженнях (2), (3) і (4). Керованими змінними задачі є параметри системи керування: кількість і склад (розміщення) вимірювальних приладів, кількість і склад (розміщення) керувальних органів, точність вимірювальних приладів, частота опитування вимірювальних приладів.

Основну увагу в роботі приділено розробці математичної моделі системи керування поточкорозподілом в МТ, функціональні співвідношення якої є головним обмеженням задачі підвищення ефективності (1)-(4).

Для розробки математичної моделі системи керування поточкорозподілом в МТ запропоновано структурну схему системи (рис. 2), до складу якої входить підсистема збору та передачі інформації, підсистема обробки інформації, підсистема вироблення керувального впливу та підсистема реалізації керувального впливу.

Розроблена математична модель системи керування поточкорозподілом в МТ включає узагальнену модель, структурну модель і функціональну модель. Узагальнену модель представлено у вигляді системи рівнянь, кожне з яких в загальному вигляді описує окремі підсистеми системи керування поточкорозподілом в МТ:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\mathbf{V}} &= \mathbf{F}_{3III}(\mathbf{V}, \mathbf{E}_{\tilde{v}}), \\ \hat{\mathbf{Z}} &= \mathbf{A}_{OI}(\tilde{\mathbf{V}}), \\ \mathbf{U} &= \mathbf{A}_{BKB}(\hat{\mathbf{Z}}, \mathbf{\Theta}_{cn}^*), \\ \mathbf{S}_{\kappa} &= \mathbf{F}_{PKB}(\mathbf{U}, \mathbf{E}_U) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де \mathbf{V} , $\tilde{\mathbf{V}}$, \mathbf{E}_V – вектори розмірності v відповідно істинних значень вимірюваних параметрів, фактично отриманих результатів вимірювань і похибок вимірювань; $\hat{\mathbf{Z}}$ – вектор розмірності z наближень (оцінок) вектора параметрів поточкорозподілу \mathbf{Z} , де під параметрами поточкорозподілу розуміється та частина параметрів МТ \mathbf{R} , які постійно змінюються під впливом зовнішніх збурень і які фактично визначають стан МТ ($z < r$); Θ_{cn}^* – вектор задавального впливу (необхідна кількість тепла у споживачів) розмірності N_{cn} ; \mathbf{U} , \mathbf{E}_U – вектори розмірності u відповідно керувального впливу і похибок реалізації керувального впливу; \mathbf{S}_k – вектор гідравлічних опорів керувальних органів розмірністю u ; A і F – відповідно алгоритм і функція.

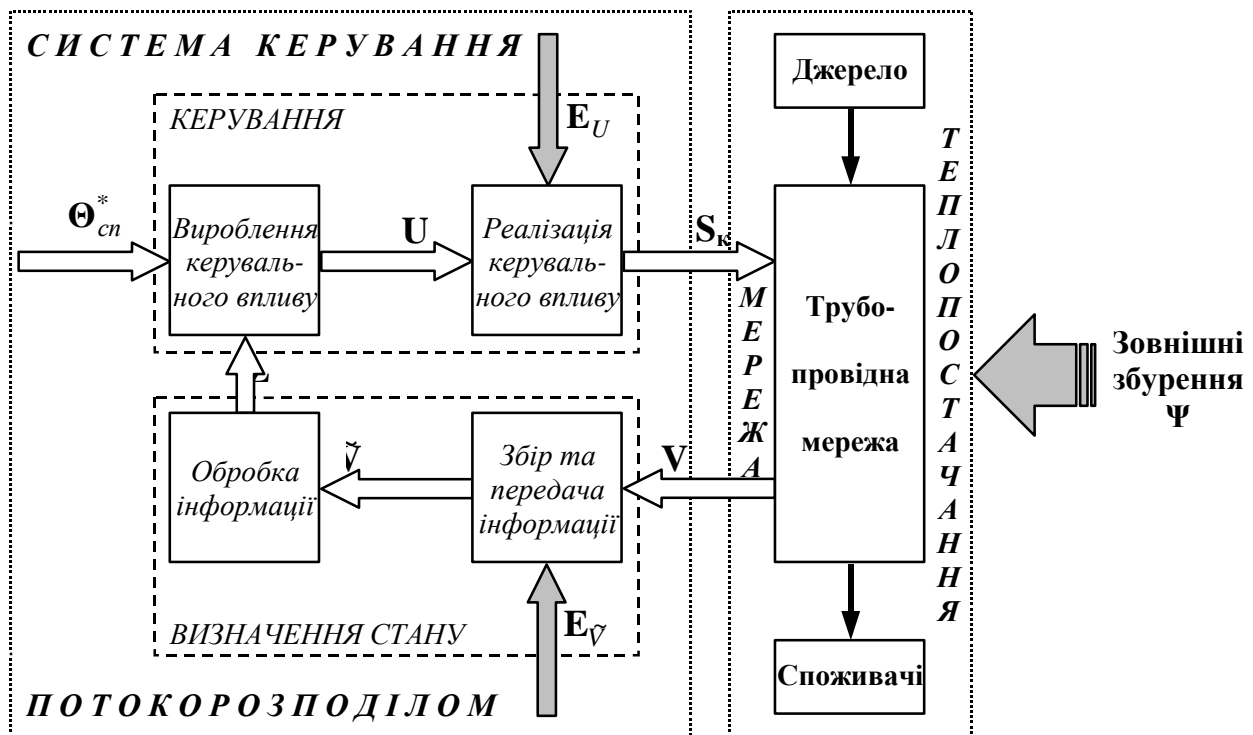


Рис. 2. Структурна схема системи керування поточкорозподілом в МТ

Необхідність розробки структурної моделі пов'язана з тим, що в задачу підвищення ефективності системи керування поточкорозподілом в МТ входять характеристики розмірності. Структурну модель представлено у вигляді триєдиного графа $G = \{G_O, G_S, G_{SO}\}$, який включає підграф об'єкта керування G_O , підграф системи керування G_S та підграф взаємозв'язку об'єкта та системи керування G_{SO} . Кожен підграф складається з множини вершин і множини дуг, яким поставлені у відповідність характеристики МТ і системи керування поточкорозподілом в МТ.

Функціональну модель системи керування поточкорозподілом в МТ представлено сукупністю взаємопов'язаних математичних моделей основних складових частин системи. Модель підсистеми збору та передачі інформації подано у вигляді:

$$\tilde{\mathbf{V}} = \mathbf{V}(\mathbf{Y}) + \mathbf{E}_V. \quad (6)$$

При цьому зроблено припущення про нормальний закон розподілу похибок вимірювань E_{ν} і незалежність похибок вимірювань різних параметрів.

У формулі (6) вектор \mathbf{Y} отримано як результат розбиття вектора \mathbf{Z} на вектор незалежних параметрів \mathbf{Y} розмірності y і вектор залежних параметрів \mathbf{X} розмірності x , при цьому вектор залежних параметрів \mathbf{X} однозначно визначається через вектор незалежних параметрів \mathbf{Y} на основі рівнянь математичної моделі поточкорозподілу, тобто

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}(\mathbf{Y}) \text{ і } \mathbf{F}(\mathbf{Z}) = \mathbf{F}(\mathbf{X}(\mathbf{Y}), \mathbf{Y}) = 0. \quad (7)$$

Таке розбиття використано для пониження розмірності математичної моделі збору та передачі інформації, оскільки $y < z$.

Необхідність обробки вимірювальної інформації пов'язана з тим, що вектор вимірювань $\tilde{\mathbf{V}}$ є неповним, так як вимірюється лише деяка частина параметрів поточкорозподілу \mathbf{Z} , і недостовірним через наявність похибок вимірювань E_{ν} . Підвищення достовірності вимірювальної інформації і визначення невимірюваних параметрів поточкорозподілу досягнуто завдяки використанню функціональних залежностей між вимірюваними параметрами. Алгоритм обробки A_{OI} результатів вимірювання побудовано на основі узагальненого методу найменших квадратів і зведено до пошуку такої оцінки $\hat{\mathbf{Y}}$ вектора \mathbf{Y} , яка забезпечує досягнення мінімуму функції вигляду:

$$\Phi(\hat{\mathbf{Y}}) = [\tilde{\mathbf{v}} - \mathbf{v}(\hat{\mathbf{Y}})]^T \mathbf{R}_{\nu}^{-1} [\tilde{\mathbf{v}} - \mathbf{v}(\hat{\mathbf{Y}})], \quad (8)$$

де \mathbf{R}_{ν} – матриця коваріацій похибок вимірювань.

Мінімізувавши (8) та підставивши отриману оцінку $\hat{\mathbf{Y}}$ у (7), отримуємо також оцінку $\hat{\mathbf{X}}$ вектора незалежних параметрів \mathbf{X} , в результаті чого стають відомими оцінки $\hat{\mathbf{Z}}$ всіх параметрів поточкорозподілу.

Отримані оцінки $\hat{\mathbf{Z}}$ використовуються в системі вироблення керувального впливу, основна задача якої полягає у визначенні такого вектора керувального впливу \mathbf{U} , при якому досягається мета керування – забезпечується оптимальний розподіл тепла між споживачами. Ступінь досягнення мети керування виражено функцією Ω різниці поточних вимог споживачів у теплі Θ_{cn}^* і поточної кількості тепла, що її отримують споживачі Θ_{cn} :

$$\Omega = \Omega(\Theta_{cn}^* - \Theta_{cn}) = \Omega(\Theta_{cn}^* - \Theta(\mathbf{Z})). \quad (9)$$

Крім мінімізації критерію (9), обов'язковою умовою, яка висувається до вектора керувального впливу \mathbf{U} , є також його відповідність функціональним співвідношенням математичної моделі поточкорозподілу в МТ:

$$\mathbf{F}(\mathbf{Z}, \mathbf{U}) = 0. \quad (10)$$

Керувальний вплив \mathbf{U} , отриманий в результаті розв'язання задачі (9)-(10), надходить на вхід підсистеми реалізації керувального впливу, яку представлено сукупністю керувальних органів, розміщених на трубопроводах МТ. Кожен керувальний орган є системою автоматичного керування, до складу якої входить підсилювач, джерело живлення, виконавчий механізм і керована засувка

дросельного типу. Математичну модель підсистеми реалізації керувального впливу представлено у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \zeta_{\kappa} &= 2\rho F_{\kappa}^2 S_{\kappa} \\ \mu_{\kappa} &= f^{-1}(\zeta_{\kappa}) \\ H_{\kappa \text{необх}} &= \mu_{\kappa} H_{\kappa \text{мах}} \\ \Delta H_{\kappa} &= |H_{\kappa \text{пот}} - H_{\kappa \text{необх}}| \\ \Delta \tau &= \frac{k_{\text{ред}} \Delta H_{\kappa}}{h_{\kappa} \omega_{\text{дв}}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

де ζ_{κ} , S_{κ} , F_{κ} – відповідно коефіцієнт місцевого гідравлічного опору, гідравлічний опір і площа прохідного перерізу засувки; μ_{κ} – ступінь відкриття засувки; $H_{\kappa \text{необх}}$, $H_{\kappa \text{пот}}$, $H_{\kappa \text{мах}}$ – відповідно необхідна, поточна та максимальна величина ходу рухомої частини засувки; h_{κ} – величина ходу рухомої частини засувки, яка відповідає одному оберту головного валу виконавчого механізму; $\omega_{\text{дв}}$ – кутова швидкість ротора електродвигуна; $k_{\text{ред}}$ – коефіцієнт пропорційності редуктора; $\Delta \tau$ – інтервал часу, протягом якого працює електродвигун.

Також у другому розділі розроблено метод математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ. Необхідність розробки нового методу викликана тим, що більшість систем керування поточкорозподілом в МТ працюють в режимі послідовного опитування вимірювальних приладів, а у відомих методах оцінювання стану неодноразовість вимірювань параметрів стану не враховується, що вносить значку похибку в результати оцінювання.

Для врахування неодноразовості вимірювань параметрів поточкорозподілу розроблено авторегресійну модель прогнозу параметрів поточкорозподілу, яка дозволяє розрахувати лінійні прогнози для вимірюваних параметрів на момент розв'язання задачі оцінювання і дисперсії цих прогнозів:

$$\hat{V}_i = K_{V_i}(\Delta \tau_i) \frac{\sigma[V_i(\tau_o)]}{\sigma[V_i(\tau_i)]} \hat{V}_i + M[V_i(\tau_o)] - K_{V_i}(\Delta \tau_i) \frac{\sigma[V_i(\tau_o)]}{\sigma[V_i(\tau_i)]} M[V_i(\tau_i)], \quad (12)$$

$$\sigma^2[\hat{V}_i] = (1 - K_{V_i}^2(\Delta \tau_i)) \sigma^2[V_i(\tau_o)] + K_{V_i}^2(\Delta \tau_i) \frac{\sigma^2[V_i(\tau_o)]}{\sigma^2[V_i(\tau_i)]} \sigma^2[E_{\hat{V}_i}], \quad (13)$$

де τ_i – момент вимірювання параметра V_i ; $\Delta \tau_i$ – час, який проходить від моменту вимірювання параметра V_i до моменту розв'язання задачі оцінювання; $\tau_o = \tau_i + \Delta \tau_i$ – момент розв'язання задачі оцінювання; \hat{V}_i – значення, яке прийняв параметр V_i в результаті вимірювання; \hat{V}_i – лінійний прогноз параметра V_i на момент розв'язання задачі оцінювання τ_o ; $\sigma^2[E_{\hat{V}_i}]$ – дисперсія похибки вимірювання $E_{\hat{V}_i}$; $\sigma^2[V_i]$ – дисперсія прогнозу параметра V_i ; $M[V_i(\tau_i)]$, $M[V_i(\tau_o)]$ – математичні сподівання випадкової функції $V_i(\tau)$ відповідно на момент вимірювання і на момент розв'язання задачі оцінювання; $\sigma[V_i(\tau_i)]$, $\sigma[V_i(\tau_o)]$ – середні квадратичні відхилення випадкової функції $V_i(\tau)$ відповідно на момент вимірювання і на момент

розв'язання задачі оцінювання; $K_{V_i}(\Delta\tau_i)$ – нормований коефіцієнт автокореляції випадкової функції $V_i(\tau)$.

При цьому зроблено припущення, що зміни параметрів поточкорозподілу в часі являють собою нормальні центровані випадкові процеси. Також прийнято, що основні числові характеристики цих випадкових функцій – математичні сподівання $M[V_i(\tau)]$, дисперсії $\sigma^2[V_i(\tau)]$, автокореляційні функції $K_{V_i}(\Delta\tau)$ – відомі.

Розроблений метод дозволяє також врахувати експертну інформацію. Необхідність залучення експертних даних пов'язана з тим, що через обмежену кількість вимірювальних приладів в системі керування поточкорозподілом в МТ та обмежений час вимірювання не всі необхідні параметри вдається виміряти. Безпосередньому використанню експертної інформації в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ передуює етап нормування функцій належності $\mu(E_{\varphi_i})$, якими виражаються похибки експертів:

$$p(E_{\varphi_i}) = \frac{\mu(E_{\varphi_i})}{\int_{E_{\varphi_i \min}}^{E_{\varphi_i \max}} \mu(E_{\varphi_i}) dE_{\varphi_i}}. \quad (14)$$

На основі запропонованого методу показано, що в умовах неодноразовності вимірювань точність визначення параметрів поточкорозподілу залежить від послідовності опитування вимірювальних приладів та стохастичних властивостей МТ, а також зроблено висновок про необхідність підвищення швидкодії підсистеми збору та передачі даних для покращення точнісних показників вихідної інформації.

Також у другому розділі отримано функціональні залежності, які дозволяють оцінити вплив похибок вихідних даних на точність реалізації керування поточкорозподілом в МТ.

У **третьому розділі** розглянуто питання оптимізації систем керування поточкорозподілом в МТ.

Розроблено алгоритм вибору оптимального зі всіх можливих базисних складів вимірювальних приладів в системі керування поточкорозподілом в МТ, де під базисним в даному випадку розуміється такий склад вимірювальних приладів, при якому забезпечується невиродженість задачі оцінювання. Алгоритм базується на аналізі спостережності МТ та зводиться до розв'язання задачі пошуку максимального паросполучення на біхроматичному графі, який відображає структуру математичної моделі поточкорозподілу.

Розроблений алгоритм покладено в основу алгоритму визначення оптимального співвідношення вимірюваних та експертно оцінюваних параметрів для заданого рівня якості оцінювання. Під якістю оцінювання в даному випадку розуміється величина, обернена до сліду коваріаційної матриці похибок оцінок, яку отримують в результаті розв'язання задачі оцінювання. Алгоритм, починаючи зі складу, що містить всі можливі вимірювання, послідовно по одному вилучає вимірювання, які найменше впливають на якість оцінювання. Якщо в процесі роботи алгоритму виявиться, що рівень якості оцінювання, який забезпечується

оптимальним базисним складом V_{δ} , вищий заданого рівня $Rmin$, то проводиться послідовна заміна вимірювань базисного складу на експертні оцінки (рис. 3).

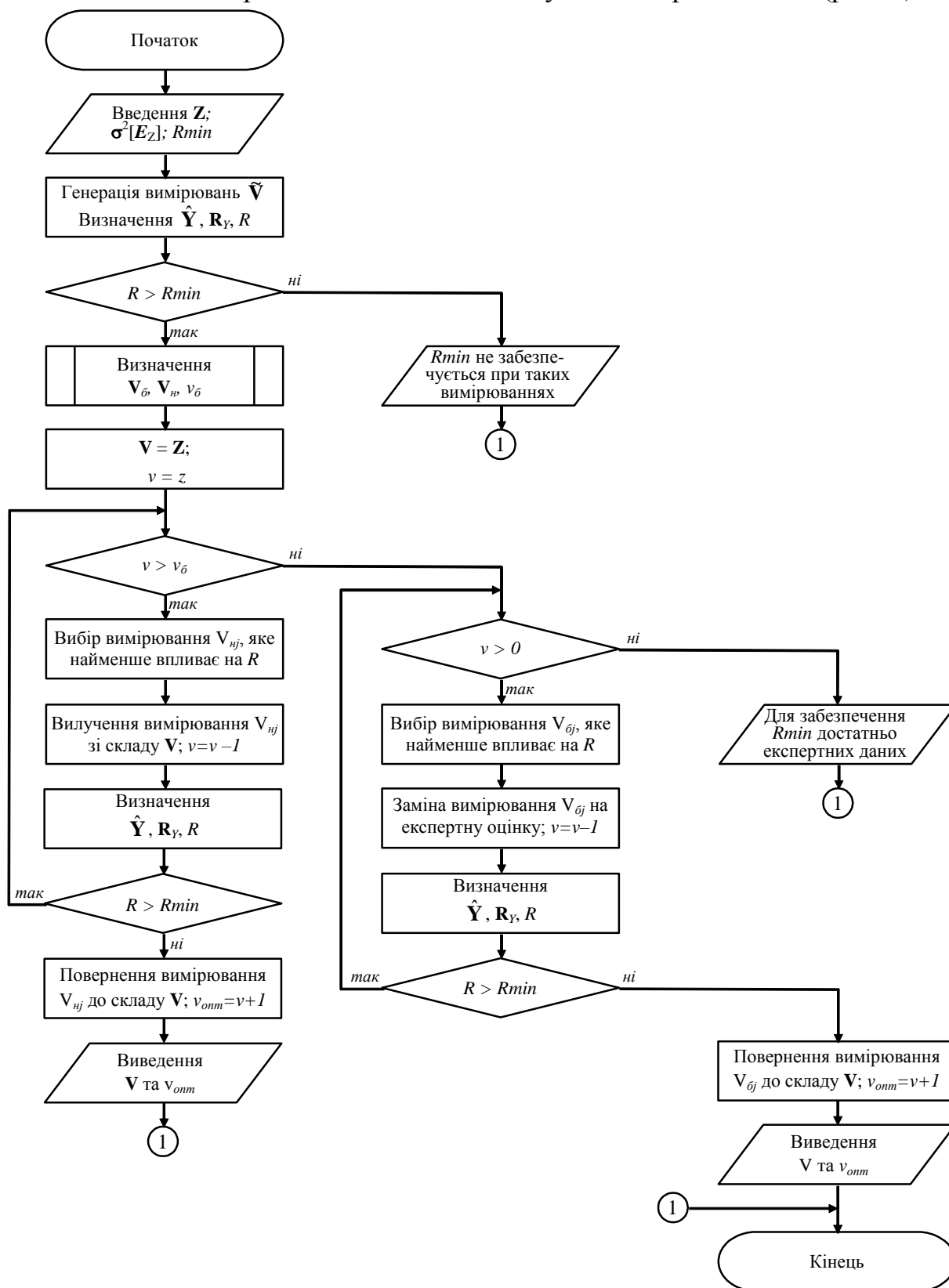


Рис. 3. Алгоритм оптимізації кількості вимірювальних приладів при використанні експертної інформації

Також у третьому розділі розроблено математичну модель оптимізації поточкорозподілу. Ця модель представляє собою задачу оптимізації, яка полягає в пошуку таких значень гідравлічних опорів засувок \mathbf{S}_κ , при яких досягаються мінімальні відхилення поточної кількості тепла від необхідної

$$\Omega = \sum_{j=1}^{N_{cn}} (\Theta_{cnj}^* - \Theta_{cnj})^2 \quad (15)$$

і виконуються основні співвідношення математичної моделі поточкорозподілу в МТ

$$\mathbf{A}\mathbf{q} = \mathbf{Q}, \quad (16)$$

$$\mathbf{B}\mathbf{y} = 0, \quad (17)$$

$$\mathbf{y} + \mathbf{H} = (\mathbf{S} + \mathbf{S}_\kappa) \tilde{\mathbf{Q}}\mathbf{q}, \quad (18)$$

$$\mathbf{t}_n = \bar{\mathbf{A}}_n \mathbf{T}, \quad (19)$$

$$\mathbf{t}_\kappa = \mathbf{t}_n - \Delta \mathbf{t}, \quad (20)$$

$$\bar{\mathbf{A}}_n \mathbf{C}_n \mathbf{t}_n + \bar{\mathbf{A}}_\kappa \mathbf{C}_\kappa \mathbf{t}_\kappa = \Theta. \quad (21)$$

$$\underline{\mathbf{S}}_\kappa \leq \mathbf{S}_\kappa \leq \bar{\mathbf{S}}_\kappa, \quad (22)$$

У формулах (16)-(22) $\bar{\mathbf{A}}$ і \mathbf{A} – відповідно $m \times n$ і $(m-1) \times n$ матриці інцидентій вузлів і ділянок графа МТ; $\bar{\mathbf{A}}_n$, $\bar{\mathbf{A}}_\kappa$ – $m \times n$ матриці, що фіксують відповідно початкові та кінцеві вузли ділянок графа МТ ($\bar{\mathbf{A}}_n + \bar{\mathbf{A}}_\kappa = \bar{\mathbf{A}}$); \mathbf{B} – $k \times n$ матриця лінійно незалежних контурів графа МТ; \mathbf{q} – вектор витрат теплоносія на ділянках МТ розмірності n ; \mathbf{Q} і Θ – вектори розмірності m відповідно витрат теплоносія і витрат тепла у вузлах МТ; $\tilde{\mathbf{Q}}$ – $n \times n$ діагональна матриця з елементами $|q_i|$; \mathbf{H} і \mathbf{y} – вектори розмірності n відповідно діючих напорів і перепадів напору на ділянках МТ; \mathbf{S} і \mathbf{S}_κ – $n \times n$ діагональні матриці відповідно гідравлічних опорів ділянок і гідравлічних опорів засувок; $\underline{\mathbf{S}}_\kappa$ і $\bar{\mathbf{S}}_\kappa$ – $n \times n$ діагональні матриці відповідно нижніх і верхніх границь робочих діапазонів засувок; \mathbf{t}_n і \mathbf{t}_κ – вектор розмірності n відповідно температур теплоносія на виході і на вході ділянок графа МТ; \mathbf{T} – вектор температур теплоносія у вузлах графа МТ розмірності m ; m , n , k – відповідно кількість вузлів, ділянок та лінійно незалежних контурів графа МТ.

Особливістю цієї оптимізаційної задачі є її велика розмірність, а також те, що керовані змінні \mathbf{S}_κ не входять в явному вигляді у цільову функцію, що значно обмежує застосування традиційних математичних методів пошуку екстремуму. Для її розв'язання розроблено власний високоефективний алгоритм (рис. 4). Основна ідея цього алгоритму полягає в тому, що система рівнянь (16)-(21) при фіксованих значеннях гідравлічних опорів керованих засувок \mathbf{S}_κ має єдине рішення, а цільова функція (15) в області (22) має один мінімум (це доведено численними комп'ютерними експериментами). В результаті, замість розв'язання складної задачі умовної оптимізації можна шукати в діапазоні (22) таку точку \mathbf{S}_κ^* , в якій після розв'язання системи рівнянь (16)-(21) цільова функція (15) прийме мінімальне значення.

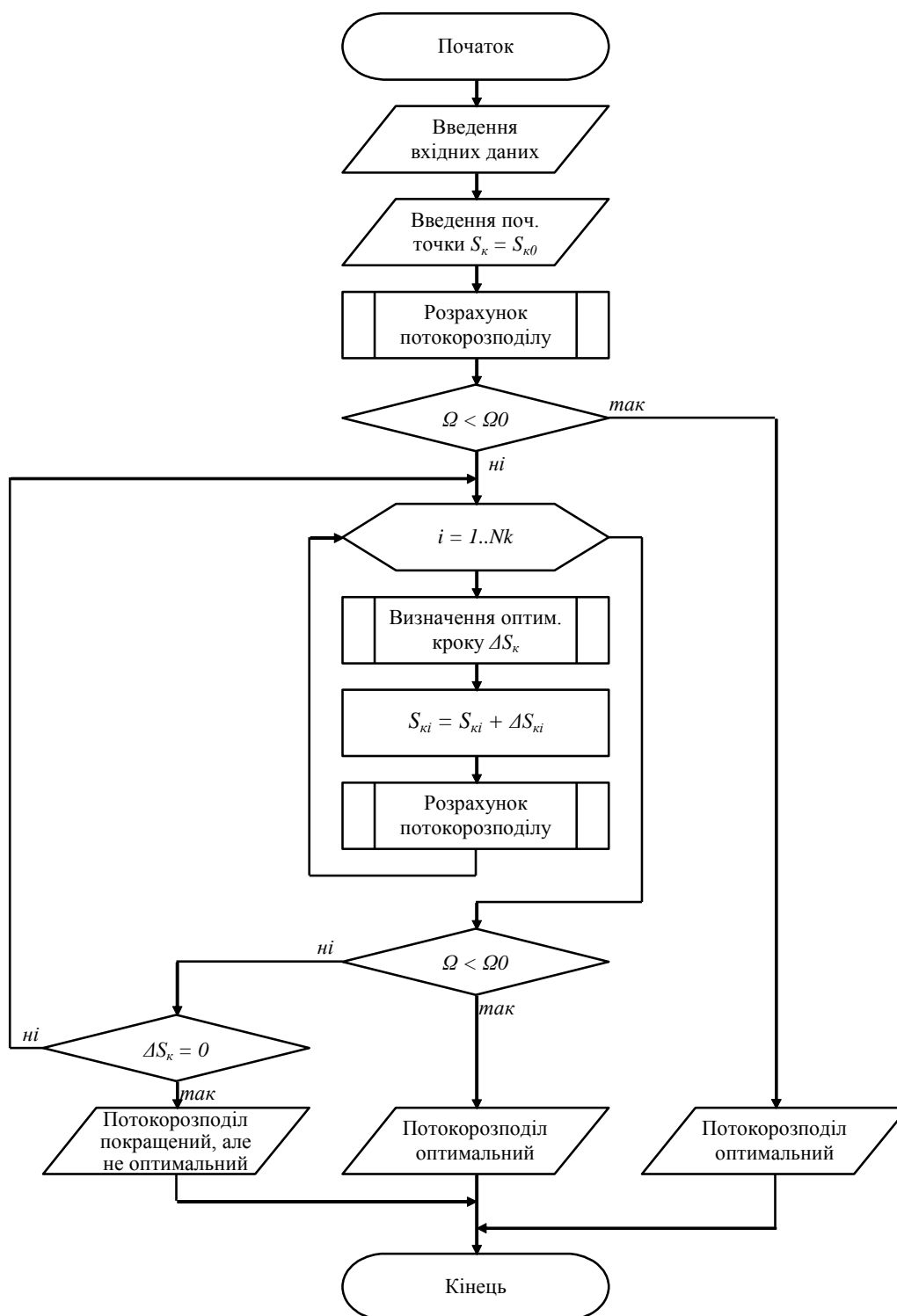


Рис. 4. Алгоритм оптимізації поточкорозподілу в МТ

Проведено дослідження адекватності розроблених математичних моделей та обчислювальної ефективності запропонованих алгоритмів. Зокрема, були проведені імітаційні експерименти, за результатами яких розраховані відносна та зведена похибки математичної моделі оцінювання параметрів поточкорозподілу в МТ для неодночасних вимірювань, що склали відповідно 18% та 2%.

Дослідження обчислювальної ефективності проводилися для алгоритму оптимізації поточкорозподілу в МТ, в результаті чого встановлено, що час розв'язання задачі оптимізації поточкорозподілу залежить не стільки від кількості

керуваних змінних і методу пошукової оптимізації, який використовується в схемі алгоритму оптимізації поточкорозподілу, скільки від розмірності та складності функціональних співвідношень системи рівнянь математичної моделі поточкорозподілу, яка формує обмеження задачі.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено практичній реалізації результатів, отриманих в другому і третьому розділах.

Розроблено методику проектування та оптимізації систем керування поточкорозподілом в МТ. Враховуючи необхідність забезпечення максимальної ефективності системи керування, висунуто рекомендації щодо вибору технічних засобів, на основі яких можна побудувати систему керування поточкорозподілом в МТ. Використання розробленої методики дозволяє підвищити якість проектування систем керування теплопостачанням, а також скоротити загальну кількість приладів, необхідних для контролю та керування системою.

На основі математичної моделі оптимізації поточкорозподілу в МТ та алгоритму оптимізації поточкорозподілу розроблено програмне забезпечення, яке працює під управлінням операційних систем сімейства Windows, і призначене для моделювання та оптимізації керування поточкорозподілом в МТ. Програмне забезпечення дозволяє вирішувати такі задачі: надає можливість користувачу будувати схеми МТ різної топології з набору стандартних елементів; проводити розрахунок, аналіз, оптимізацію поточкорозподілу; представляти результати моделювання в табличному та графічному вигляді.

В **додатках** наведено результати розрахунків, лістинги та настанови щодо використання програм, відомості про впровадження результатів дисертації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної наукової задачі, яка полягає в розробці математичних моделей та методів, призначених для моделювання систем керування поточкорозподілом в МТ, на основі яких можна підвищити ефективність цих систем.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи такі.

1. Розроблено математичну модель системи керування поточкорозподілом в МТ, яка, на відміну від існуючих моделей, узагальнює математичні моделі збору та передачі інформації, обробки інформації, вироблення керувального впливу, реалізації керувального впливу.

2. Запропоновано новий метод математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в МТ, який базується на загальних принципах оцінювання за методом найменших квадратів і використовує авторегресійну модель прогнозу параметрів поточкорозподілу. На відміну від існуючих метод дозволяє врахувати неодноразовість вимірювань параметрів та експертні оцінки параметрів, що не підлягають вимірюванню.

3. Розроблено математичну модель оптимізації поточкорозподілу в МТ, яка, на відміну від відомих математичних моделей, дозволяє врахувати втрати тепла в трубопроводах МТ і втрати, пов'язані з неоптимальним розподілом тепла між споживачами.

4. Розроблено алгоритм визначення оптимального базисного складу вимірювальних приладів в системах керування поточкорозподілом в МТ, який оснований на аналізі спостережності МТ та зводиться до розв'язання задачі пошуку максимального паросполучення на біхроматичному графі, що відображає структуру математичної моделі поточкорозподілу.

5. Обґрунтовано доцільність та показано можливість використання експертних даних в системах керування поточкорозподілом в МТ. На основі даного підходу розроблено алгоритм, який дозволяє визначити оптимальне співвідношення вимірювальних та експертно оцінюваних параметрів для заданого рівня якості оцінювання.

6. На основі математичної моделі оптимізації поточкорозподілу розроблено алгоритм оптимізації поточкорозподілу в МТ, який базується на методах пошукової оптимізації і використовує ітераційну процедуру розрахунку поточкорозподілу.

7. Проведено дослідження адекватності математичної моделі оцінювання параметрів поточкорозподілу в МТ. Адекватність математичної моделі оцінювалася відносною та зведеною похибками, які склали відповідно 18% та 2%.

8. Проведено дослідження обчислювальної ефективності алгоритму оптимізації поточкорозподілу в МТ, в результаті якого встановлено, що час розв'язання задачі оптимізації поточкорозподілу залежить не стільки від вибору методу пошукової оптимізації, який використовується в схемі алгоритму оптимізації поточкорозподілу, скільки від розмірності та складності функціональних співвідношень системи рівнянь математичної моделі поточкорозподілу.

9. Розроблено методику проектування та оптимізації системи керування поточкорозподілом в МТ. Враховуючи необхідність забезпечення максимальної ефективності системи керування, висунуто рекомендації щодо вибору технічних засобів, на основі яких можна побудувати систему керування поточкорозподілом в МТ.

10. На основі розробленої математичної моделі оптимізації поточкорозподілу та запропонованого алгоритму оптимізації розроблено програмне забезпечення, яке призначене для моделювання та оптимізації керування поточкорозподілом в МТ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Паночишин Ю.М. Оцінка ефективності алгоритму розподілу потоків // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – №6. – С. 126-129.

2. Паночишин Ю.М., Янчук Л.М. Модель об'єкта в системах управління поточкорозподілом // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – №4. – С. 60-66.

3. Паночишин Ю.М. Оптимізація контролю в системах управління інженерними мережами теплопостачання // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – №6. – С. 77-83.

4. Дубовой В.М., Паночишин Ю.М. Математичне моделювання в задачах оцінювання поточного стану інженерних мереж теплопостачання // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2004. – №6(76). – С. 131-139.

5. Паночишин Ю.М., Малішевський Д.К. Комп'ютерна програма для моделювання та оптимізації керування поточкорозподілом в інженерних мережах теплопостачання "STREAM" / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №11029 від 14 вересня 2004 р.

6. Паночишин Ю.Н. Автоматизация управления распределением ресурсов в инженерных сетях // Збірник наукових праць I Всеукраїнської науково-технічної конференції аспірантів та студентів "Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих". – Донецьк: ДонДТУ, 2001. – С. 160-162.

7. Panochyshyn Y.M. Modeling of the heat flows distribution in engineering networks // Proceedings of International Conference on Modeling and Simulation MS'2001. – Lviv, 2001. – P. 326-327.

8. Паночишин Ю.М. Автоматизація керування розподілом потоків у мережах // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології". – Вінниця: ВДТУ, 2001. – С. 181.

9. Паночишин Ю.М. Моделювання та оптимізація потоків в інженерних мережах // Тези студентських доповідей, рекомендованих до опублікування оргкомітетом ХХХ науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу співробітників та студентів університету за участю співробітників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників м. Вінниці та області. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – С. 37.

10. Дубовой В.М., Паночишин Ю.М. Визначення оптимального складу вимірювальних приладів в системах керування інженерними мережами теплопостачання // Матеріали 11-ої міжнародної конференції по автоматичному управлінню "Автоматика-2004". – Київ: НУХТ, 2004. – Т. 2. – С. 22.

АНОТАЦІЇ

Паночишин Ю.М. Моделювання систем керування поточкорозподілом в мережах теплопостачання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2004.

Дисертація присвячена розв'язанню задачі моделювання систем керування поточкорозподілом в мережах теплопостачання.

Для моделювання систем керування поточкорозподілом в мережах теплопостачання розроблено математичну модель, яка узагальнює математичні моделі збору та передачі інформації, обробки інформації, вироблення керувального впливу, реалізації керувального впливу. Запропоновано новий метод математичного моделювання в задачах оцінювання стану поточкорозподілу в мережах теплопостачання, який базується на загальних принципах оцінювання за методом найменших квадратів і використовує авторегресійну модель прогнозу параметрів поточкорозподілу. Розроблено математичну модель оптимізації поточкорозподілу в мережах теплопостачання, яка дозволяє врахувати втрати тепла в трубопроводах і втрати, пов'язані з неоптимальним розподілом тепла між споживачами.

На основі запропонованих моделей та методів розроблено методичні, алгоритмічні та програмні засоби для моделювання та оптимізації систем керування поточкорозподілом в мережах теплопостачання.

Ключові слова: мережа теплопостачання, поточкорозподіл, ефективність, система керування поточкорозподілом, оцінювання стану, оптимізація поточкорозподілу.

Паночишин Ю.Н. Моделирование систем управления потокораспределением в сетях теплоснабжения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2004.

Диссертация посвящена решению задачи моделирования систем управления потокораспределением в сетях теплоснабжения.

Проведен анализ структуры современных сетей теплоснабжения, принципов организации технологического процесса теплоснабжения, а также структуры систем управления сетями теплоснабжения и методов управления потокораспределением.

Для моделирования систем управления потокораспределением в сетях теплоснабжения разработана математическая модель, которая обобщает математические модели сбора и передачи информации, обработки информации, генерации управляющего воздействия, реализации управляющего воздействия. Разработанная модель построена на базе предложенной структурной схемы системы управления потокораспределением в сетях теплоснабжения и включает обобщенную модель, структурную модель и функциональную модель.

Предложен метод математического моделирования в задачах оценивания состояния потокораспределения в сетях теплоснабжения, который базируется на общих принципах оценивания по методу наименьших квадратов и использует авторегрессионную модель прогноза параметров потокораспределения. Метод позволяет учесть неодновременность измерений параметров и экспертные оценки параметров, которые не подлежат измерению, благодаря чему метод может быть использован в системах управления потокораспределением в сетях теплоснабжения с последовательным опросом измерительных приборов.

Разработана математическая модель оптимизации потокораспределения в сетях теплоснабжения, которая в отличие от существующих математических моделей позволяет учесть потери тепла в трубопроводах и потери, связанные с неоптимальным распределением тепла между потребителями.

На основе предложенных математических моделей и методов разработан комплекс алгоритмов, позволяющих повысить эффективность систем управления потокораспределением в сетях теплоснабжения. Проведена оценка погрешностей моделирования и исследования вычислительной эффективности алгоритмов.

Полученные в работе теоретические и практические результаты использованы для разработки методики проектирования и оптимизации систем управления потокораспределением в сетях теплоснабжения, а также создания программного обеспечения для моделирования и оптимизации управления потокораспределением.

Ключевые слова: сеть теплоснабжения, потокораспределение, эффективность, система управления потокораспределением, оценивание состояния, оптимизация потокораспределения.

Panochyshyn Y. Modeling of flow distribution control systems in heat supply networks. – Manuscript.

Thesis for a candidate's degree of technical sciences by specialty 01.05.02 – mathematical modeling and computational methods. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2004.

The dissertation is devoted to the decision of a task of modeling of flow distribution control systems in heat supply networks.

The new mathematical model of flow distribution control system in heat supply networks is created. This model generalizes mathematical models of information acquisition and passing, information processing, control action generation, control action implementation. The new method of mathematical modeling in tasks of a flow distribution state estimation is advanced. The method is based on concepts of least-squares method and realizes the autoregressive model of flow distribution parameters prognosis. The mathematical model of flow distribution optimization in heat supply networks is created. This model allows to take into consideration heat losses in pipelines and losses which are associated with nonoptimal heat distribution between consumers.

On basis of the offered models and methods methodical, algorithmic and program means for modeling and optimization of flow distribution control system in heat supply networks are developed.

Keywords: heat supply network, flow distribution, effectiveness, flow distribution control system, state estimation, flow distribution optimization.

Підписано до друку 15.12.2004 р. Формат 29.7×42 1/4
Наклад 100 прим. Зам. № 2004-205
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 44-01-59