

Т.В. Потаніна, О. В. Єфімов, О.Д. Меньшикова, Т.А. Гаркуша
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”,
кафедра парогенераторобудування

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ РОЗРАХУНКУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З ВВЕР-1000

© Потаніна Т.В., Єфімов О.В., Меньшикова О.Д., Гаркуша Т.А., 2006

Розглянуто модель розрахунку горизонтального парогенератора як складової частини єдиної імітаційної моделі енергоблока АЕС з ВВЕР-1000. Подані логіко-структурна блок-схема математичної моделі та узагальнений ітераційний алгоритм розрахунку агрегату. Описана програма, що реалізує алгоритм розрахунку.

The model of horizontal steam generator calculation as component of uniform imitating model of NPP with VVER-1000 power unit is considered in this article. The logic-structural block diagram of mathematical model and the generalized iterative algorithm of steam generator calculation are submitted. The program realizing algorithm of calculation is described.

Вступ. Задачі підвищення надійної та безпечної експлуатації великих енергетичних об'єктів, особливо ТЕС і АЕС, набувають все більшої актуальності. Досить успішно дає змогу розв'язувати ці задачі використання на ТЕС і АЕС автоматизованих програмних комплексів у складі АСУ ТП. Досягнення необхідного рівня автоматизації технологічних процесів основного й допоміжного устаткування енергоблоків електростанцій вимагає такої організації управління, коли практично весь обсяг керуючих функцій у діапазоні стаціонарних робочих навантажень, у штатних режимах пуску та припинення роботи устаткування, а також в аварійних режимах виконується автоматично. Надто важливо, щоб це завдання успішно вирішувалося не тільки для об'єктів, що створюються сьогодні та кількість яких ще порівняно невелика, але й для існуючих енергоблоків, які експлуатуються вже протягом 20–30 років зі збереженням на них практично без зміни раніше встановленого периферійного устаткування (давачів, арматури, приводів). Підвищення рівня автоматизації означає істотне кількісне збільшення і якісне вдосконалення алгоритмів управління. Щоб забезпечити оптимальне керування, з врахуванням низки особливостей енергетичного устаткування (велика кількість виконавчих органів і вимірюваних величин, взаємозв'язок технологічних процесів, різноманіття режимів роботи устаткування), необхідно створити розгалужені алгоритми управління й запровадити багаторівневу систему контролю їхнього функціонування, що визначає актуальність їхньої розробки.

Основою функціонування існуючих і створюваних автоматизованих програмних комплексів є імітаційна модель технологічних процесів основного й допоміжного устаткування енергоблоків електростанцій, що розв'язує методами числового експерименту прямі й зворотні задачі розрахунку параметрів на різноманітних режимах експлуатації.

Мета роботи. У статті розглянуто модель парогенератора АЕС, що була створена з метою вдосконалення вже розробленого на базі імітаційної моделі турбоустановки автоматизованого програмного комплексу [1–3]. Модель є складовою частиною, що необхідна для створення повної імітаційної моделі енергоблока АЕС.

Основні положення методики розрахунку горизонтального парогенератора. Спираючись на загальновідомі методи розрахунку горизонтальних парогенераторів [4–5], спочатку були розроблені узагальнена методика перевірного розрахунку й відповідна їй математична модель, що дають змогу розраховувати параметри агрегату з відомою геометрією каналів поверхні теплообміну на номінальному й частковому режимах експлуатації з метою визначення ентальпій (температур) теплоносія й робочого тіла й паропродуктивності парогенератора (ПГ) [6]. Математична модель ПГ об'єднує рівняння його теплового балансу, матеріальних балансів для теплоносія й робочого тіла і рівняння теплопередачі. Методика і математична модель, що її реалізує, ґрунтуються на одномірній математичній постановці розв'язування задачі перевірного розрахунку, відповідно з якою вважається, що всі параметри теплоносія змінюються тільки по довжині каналу (в напрямку руху теплоносія), але постійні по перетину каналу.

Під час формування моделі ПГ враховували те, що розмір системи математичних відношень в імітаційній моделі, що описує процеси, які відбуваються в елементах устаткування всього енергоблока, можна обчислювати сотнями (їхня кількість залежить від технологічної структури енергоблока). Ускладнення математичних моделей енергетичного устаткування за допомогою застосування диференціальних рівнянь, що містять як вхідні дані велику кількість вимірюваних стохастичних параметрів, призводить до збільшення похибки розрахунку. Крім того, при великій розмірності математичних моделей дуже істотною стає складова похибки, що зумовлена неточністю застосовуваних аналітичних і числових методів розв'язання диференціальних рівнянь [8–9]. Ускладнення математичної моделі в цьому напрямку вимагає також у деяких випадках збільшення обсягу вихідних даних, які передаються з нижнього (вимірювального) і середнього (комутативного) рівнів вимірювально-обчислювальних комплексів АСУ ТП енергоблоків і також часто спричиняє зростання відповідної складової похибки. Необхідно мати на увазі і те, що розв'язуючи завдання управління енергоблоком, розрахунки, які виконуються за допомогою імітаційної моделі, потрібно здійснювати багаторазово й, отже, стає актуальним питання обчислювального ресурсу. З урахуванням усіх наведених особливостей і обставин модель парогенератора як складова частина імітаційної моделі енергоблока була розроблена за таких фізичних і математичних припущень:

- теплообмін ПГ із навколишнім середовищем відсутній;
- теплообмін випромінюванням між стінкою каналу й теплоносієм не враховується, зважаючи на малість;
- всі труби поверхні теплообміну, що призначені для руху теплоносія та мають однаковий радіус вигину, ідентичні між собою й працюють в однакових умовах;
- теплофізичні властивості теплоносія й робочого тіла розраховують при їхніх середніх температурах.

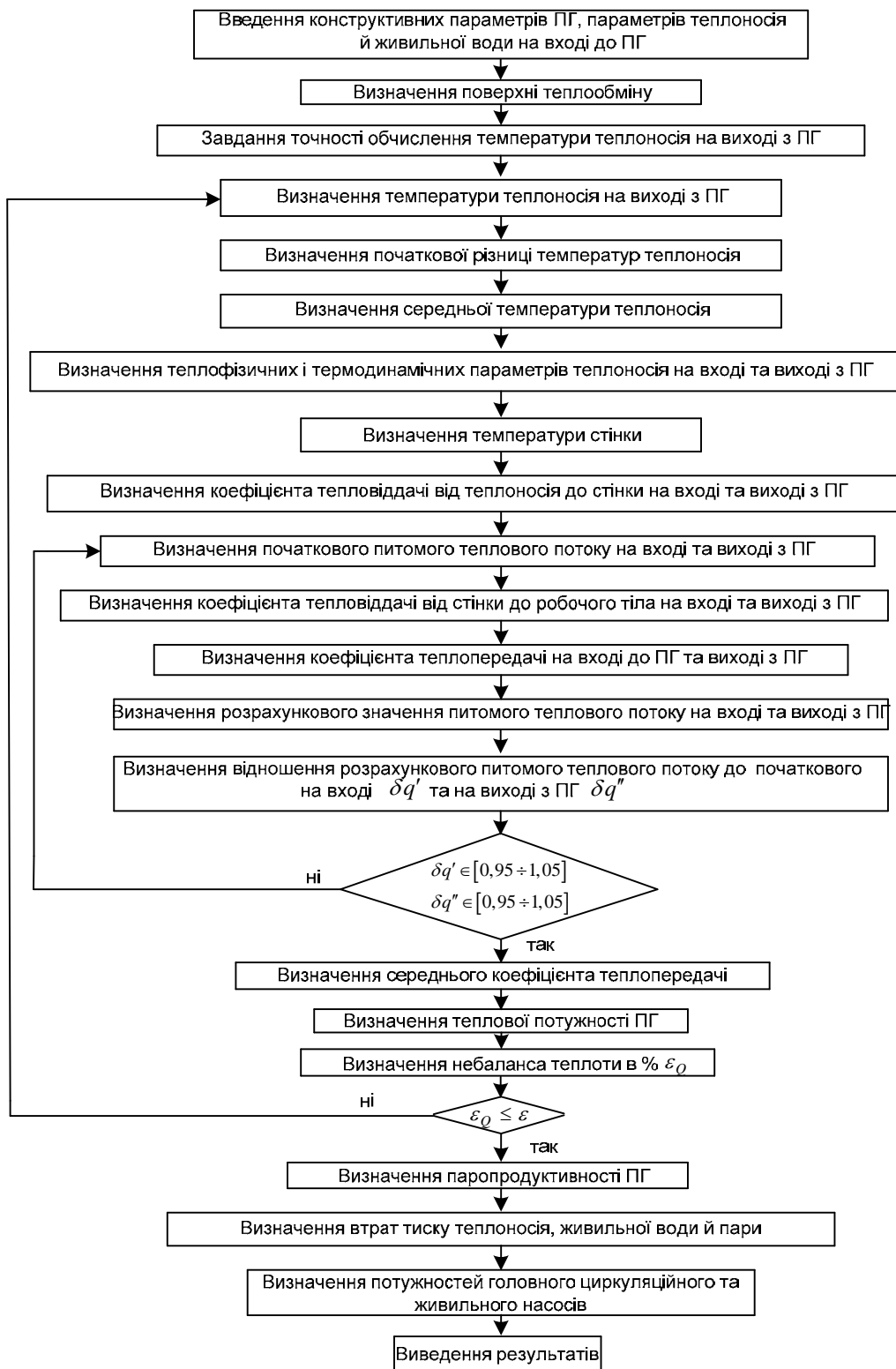
Опис алгоритму та програми розрахунку горизонтального парогенератора. Логіко-структурна блок-схема математичної моделі горизонтального парогенератора АЕС зображена на рисунку.

Узагальнений ітераційний алгоритм розрахунку горизонтального парогенератора виконують в такій послідовності:

1. Задається в першому наближенні температура теплоносія на виході з парогенератора t_1'' . Цей вибір зумовлений тим, що теплоносій не міняє свого агрегатного стану.
2. Визначається площа поверхні теплообміну F за вхідними конструктивними параметрами.
3. Визначаються менший і більший температурні середнє логарифмічні напори, а також середні температури робочого тіла $\bar{t}_{2\text{sr}}$ й теплоносія $\bar{t}_{1\text{sr}}$.
4. Визначаються швидкість w_1' і w_1'' , щільність ρ_1' і ρ_1'' , коефіцієнт динамічної в'язкості теплоносія μ_1' і μ_1'' та критерій Рейнольдса Re' і Re'' на вході до ПГ і на виході з нього.

5. Визначається температура стінки труби теплоносія \bar{t}_{ST} , за нею визначаються коефіцієнт теплопровідності λ_{ST} і термічний опір R_{ST} стінки.

6. Визначаються коефіцієнти тепловіддачі від теплоносія до стінки труби відповідно на вході α_1' та виході із ПГ α_1'' .



Логіко-структурна блок-схема математичної моделі горизонтального парогенератора

7. Задається первісне значення питомого теплового потоку теплоносія на вході до ПГ $q'_{(1)}$. Аналогічно розраховується й орієнтовне значення питомого теплового потоку на виході $q''_{(1)}$.

8. Визначаються коефіцієнти тепловіддачі від стінки труби теплоносія до робочого тіла на вході до ПГ α_2' і виході з нього α_2'' .

9. Визначаються коефіцієнти теплопередачі від теплоносія до робочого тіла на вході до ПГ k' і на виході з нього k'' .

10. Визначаються розрахункові значення питомого теплового потоку на вході до ПГ $q'_{(1)r}$ і на виході $q''_{(1)r}$.

11. Визначаються відношення $\delta q'$ і $\delta q''$ розрахункового значення питомого теплового потоку на вході й виході з ПГ до орієнтовного й порівнюються з припустимими значеннями

$$\delta q' = \frac{q'_{(1)r}}{q'_{(1)}}, \delta q'' = \frac{q''_{(1)r}}{q''_{(1)}}$$

$$0,95 \leq \delta q' \leq 1,05$$

$$0,95 \leq \delta q'' \leq 1,05$$

12. Якщо це обмеження не дотримане, задаються такі наближення $q'_{(2)}$ й $q''_{(2)}$, причому їх приймають такими, що дорівнюють $q'_{(1)r}$ й $q''_{(1)r}$ на вході й виході. Розрахунок триває до тих пір, доки питомий тепловий потік не відповідатиме заданим обмеженням.

13. Визначається середнє значення коефіцієнта теплопередачі від теплоносія до робочого тіла k_{sr} .

14. Визначається середній логарифмічний температурний напір Δt_{sr} .

15. Визначається тепловий потік \tilde{Q}_{PG} , спрямований від теплоносія до робочого тіла, за рівнянням $\tilde{Q}_{PG} = k_{sr} \cdot \Delta t_{sr} \cdot F$.

16. Визначається тепловий потік Q_{PG} , спрямований від теплоносія до робочого тіла, за рівнянням $Q_{PG} = G(i'_1 - i''_1)\eta_{PG}$.

17. Визначається небаланс теплових потоків $\theta = Q_{PG} - \tilde{Q}_{PG}$ і порівнюється з наперед заданим його припустимим значенням у відсотках ε .

18. Якщо це обмеження не дотримано, задається наступне наближення t''_1 , обчислюється нове значення θ й порівнюється із припустимим. Якщо знову обмеження не дотримано, розрахунок продовжується, і наступні наближення температури t''_1 визначаються іншими методами, наприклад, методом хорд або Ньютона [7].

19. Визначається паропродуктивність парогенератора D .

20. Визначається гідравлічний опір першого контуру ПГ (теплоносія) Δp_I .

21. Визначається гідравлічний опір другого контуру ПГ (робочого тіла) Δp_{II} .

22. Визначається потужність головного циркуляційного насоса, яка необхідна для подолання гідравлічного опору руху теплоносія N_1 .

23. Визначається потужність живильного насоса, яка необхідна для подолання гідравлічного опору руху робочого тіла N_2 .

Програма, що реалізує алгоритм розрахунку ПГ на комп'ютері, була розроблена з врахуванням системних особливостей його включення у вигляді модуля (блока) в ієрархічно впорядковану структуру імітаційної моделі теплоенергетичної установки [1]. На верхньому рівні програмного комплексу, що реалізує цю модель, знаходиться керуюча програма. Ця програма організовує роботу всього комплексу з виконання завдань, які надходять від користувача, контролює правильність його функціонування й здійснює облік реалізації завдань. Реалізований алгоритм розрахунку парогенератора складається з трьох рівнів: 1-й – керуюча програма; 2-й – програма розрахунку теплового балансу; 3-й – програми розрахунків термодинамічних і теплофізичних параметрів теплоносія та робочого тіла, коефіцієнтів тепловіддачі й температурного напору.

Керуюча програма будує структуру теплової схеми всього енергоблока, організовує обчислювальний процес і вводить вхідні дані, необхідні для роботи всього комплексу, зокрема для розрахунку ПГ. Вхідною інформацією для розрахунку ПГ є значення температури й тиску живильної води на вході в парогенератор, витрати теплоносія через парогенератор. Для розрахунку поверхні теплообміну вхідною інформацією є конструктивні параметри: кількість труб поверхні, середній діаметр труб.

Програма розрахунку теплового балансу розраховує параметри теплоносія й робочого тіла на виході з ПГ і його паропроодуктивність.

До складу програм розрахунку термодинамічних і теплофізичних параметрів теплоносія та робочого тіла входять підпрограми обчислення температури і ступеня сухості води й водяної пари за тиском та ентальпією, розрахунку швидкості, щільності, коефіцієнта динамічної в'язкості теплоносія, критеріїв Рейнольдса, Прандтля, а також обчислення коефіцієнта теплопровідності стінки за температурою.

4. Висновки. Розроблений алгоритм розрахунку горизонтального парогенератора АЕС і його програмна реалізація є подальшим вдосконаленням автоматизованого програмного комплексу, що розв'язує задачі управління, діагностики й аналізу функціонування енергоблоків АЕС із ВВЕР-1000.

1. Палагин А.А., Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д. Моделирование функционального состояния и диагностика турбоустановок. – К.: Наук. думка, 1991. – 201 с. 2. Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д., Адель Аль-Тувайни. Разработка имитационной модели котельной установки для автоматизированной системы управления и диагностики энергоблоков электростанций // Вестник НТУ “ХПИ”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2001. – Вып. 7. – С.72–78. 3. Ефимов А.В., Куценко А.С., Фролов Б.И. и др. Применение объектно-ориентированного подхода для разработки имитационной модели технологических процессов тепловых энергетических установок // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2002. – № 2. – С. 78–84. 4. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с. 5. Ремжин Ю.Н., Слабиков В.А. Основы компоновки и теплового расчета парогенераторов атомных электростанций. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 192 с. 6. Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д., Потанина Т.В. и др. Моделирование решения задачи поверочного расчета парогенератора АЭС с ВВЭР-1000 // Вестник НТУ “ХПИ”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2005. – Вып. 29. – С. 15-20. 7. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. – М.: Наука, 1965. – 616 с. 8. Розин Л.А. Метод конечных элементов // СОЖ, Т. 6, № 4, – 2000. – С. 120–127. 9. Кондратьев В.А. Уравнения в конечных разностях // СОЖ, Т. 6, № 10, – 2000. – С. 122–126.