

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ ЕНЕРГОБЛОКА ТЕС В ЗАДАЧАХ ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

¹Вінницький національний технічний університет

Метою роботи є створення математичних моделей та комп'ютерних програм для розв'язання задач проектування та експлуатації низькопотенційної частини енергоблока теплової електростанції (ТЕС). Задачами проектування низькопотенційної частини в складі теплової схеми енергоблока ТЕС є синтез оптимальної за структурою та параметрами теплової схеми в базовому режимі роботи та розрахунки схеми в режимах, відмінних від базового. Важливою задачею експлуатації енергоблока є підготовка його персоналу. Ефективним засобом такої підготовки є комп'ютерні тренажери. Математичні моделі статичних та динамічних режимів енергоблока, які необхідні для виконання цих задач, розроблені за методом ІПМаш (Інститут проблем машинобудування) НАНУ-ВНТУ логіко-числового моделювання енергетичних установок (ЕУ). Складовими методу є такі методики: передавання конструктивно-технологічних структур ЕУ, логіко-числове моделювання фізичних процесів в устаткуванні ЕУ, ідентифікація математичних моделей устаткування ЕУ, управління програмною реалізацією математичної моделі ЕУ. Структури ЕУ передаються графами. Граф, елементи якого закодовані відповідно до технологічного призначення їхніх прообразів, називається технологічним. Технологічні процеси описуються рівняннями у вигляді добутоків числових та логічних функцій. Суть моделі елемента устаткування, що ідентифікується, для визначення його характеристики полягає в такому: 1) за основу моделі береться спрощений метод визначення цієї характеристики; 2) метод доповнюється системою ідентифікаційних рівнянь, від яких встановлюється на основі математичної обробки даних фізичного експерименту; 3) емпіричні коефіцієнти в цій системі вважаються величинами середньостатистичними і в конкретних випадках реалізації моделі можуть змінюватися; 4) припускається, що для цієї моделі можна отримати деяку обмежену за обсягом інформацію про характеристику модельованого елемента; 5) вирішується задача підбору значення емпіричних коефіцієнтів моделі так, щоб відхилення значень характеристики, визначеної за допомогою моделі, від відомої, були мінімальними. Ідентифікація моделі за експериментальними даними виконується методом найменших квадратів. Управління програмною реалізацією моделі енергетичної установки є внутрішнє і зовнішнє. Внутрішнє управління полягає в забезпеченні функціонування операторної системи, як цілої на технологічному графі і його інформаційної мережі. В залежності від логічної інформації, яку містить технологічний граф, логічні функції логіко-числових модулів набувають конкретних значень, наслідком чого є формування і розв'язок системи рівнянь і нерівностей. Зовнішнє управління незалежними змінними математичної моделі виконується за допомогою програми їхньої оптимізації або з екрану дисплея у варіантних розрахунках. За згаданим методом розроблені математичні моделі статичних режимів блока для його проектування та математичні моделі динамічних режимів блока для комп'ютерного тренажера. Також розроблені програми розрахунків водосховища та маслоохолоджувачів.

На сьогодні температура доквілля перевищує проектну, що призвело до недовироблення електроенергії блоком ТЕС. Подано результати дослідження сучасних гідрологічних режимів водосховища, показана доцільність збільшення поверхонь теплообміну конденсатора та маслоохолоджувача. Розраховані оптимальні тиски в конденсаторі діючого блока та розраховані маслоохолоджувачі і конденсатори для їхньої модернізації.

Для набуття навичок управління устаткуванням низькопотенційної частини енергоблока ТЕС ро-

зроблено навчальне заняття, яке виконується на комп'ютерному тренажері блока. Метою заняття є пуск та набирання вакууму конденсаційною установкою. Головними задачами заняття є заповнення частини міжтрубного простору конденсатора водою з баків запасу хімоочищеної води, подання в труби конденсатора циркуляційної води з водосховища, зниження тиску середовища в міжтрубному просторі конденсатора з атмосферного до вакууму. Виконанням задач заняття є відповідність досягнутих параметрів конденсаційної установки їх нормативним значенням.

Ключові слова: математичне моделювання, ТЕС, енергоблок, конденсаційна установка, водосховище, комп'ютерний тренажер.

Вступ

За другим законом термодинаміки частина, отриманої від гарячого джерела, теплоти в тепловому двигуні повинна бути віддана холодному тепловому джерелу. Цей процес в блоці ТЕС відбувається в низькопотенційній частині. Низькопотенційна частина енергоблока ТЕС складається з водосховища, що є холодним джерелом, берегової насосної станції та конденсаційної установки, складовими якої є конденсатор, конденсатні насоси, ежектори, маслоохолоджувачі. Конденсатор є теплообмінником, в трубах якого тече вода з водосховища, яка подається циркуляційними насосами берегової насосної станції. На труби натікає пара з вихлопного патрубка турбіни, віддає циркуляційній воді теплоту пароутворення, і конденсується. Конденсат за допомогою насосів подається до парогенератора, а нагріта циркуляційна вода прямує до водосховища. Параметри конденсатора блока 300 МВт близькі до таких: витрата пари — 700 т/год; витрата циркуляційної води — 40 000 т/год; тиск пари — 0,04 атм, що відповідає температурі пари та її конденсату на рівні 25 °С; температура циркуляційної води на вході має 12°С, на виході — 23°С. Чим менший тиск пари в конденсаторі, тим більший теплоперепад, спрацьований в турбіні і відповідно більша її потужність. В цьому випадку зменшується температура пари, відповідно зменшується і нагрів циркуляційної води, внаслідок чого її витрата та потужність циркуляційних насосів зростають.

Існує, так званий, оптимальний тиск, який називається економічним вакуумом. Обмеженням під час його визначення є температура циркуляційної води на виході з конденсатора. З її зростанням підвищується температура води водосховища, зменшується кількість кисню у воді та зростають збитки рибного господарства.

На блоці, що працює, тиск пари в конденсаторі насамперед залежить від роботи ежекторів. Через нещільності до конденсатора надходить атмосферне повітря, яке не конденсується. Якщо його не видаляти, тиск стрімко зростатиме. Видаляють це повітря пусковий ежектор та основні ежектори.

На низькопотенційній частині енергоблока ТЕС до водосховища скидається близько 50 % теплоти згоряння палива. Від якості її проектування та експлуатації значною мірою залежить економічність блоку. *Метою роботи* є створення математичних моделей та комп'ютерних програм для розв'язання задач проектування та експлуатації низькопотенційної частини енергоблока ТЕС.

Основна частина

Життєвий цикл енергоблока ТЕС з низькопотенційною частиною в його складі містить такі етапи: проектування енергоблока, його експлуатація, модернізація енергоблока. Задачами проектування та модернізації теплової схеми енергоблока ТЕС є синтез оптимальної за структурою та параметрами теплової схеми в базовому режимі роботи та розрахунки схеми в режимах відмінних від базового. Математичні формулювання задач синтезу і режимних розрахунків теплової схеми енергоблока ТЕС можна записати таким чином: знайти значення нелінійної цільової функції $\Omega(X, Y, \Lambda)$ за наявності обмежень у вигляді рівностей

$$F(X, Y, \Lambda) = 0 \quad (1)$$

та нерівностей

$$X^{\min} \leq X \leq X^{\max}; \quad (2)$$

$$Y^{\min} \leq Y \leq Y^{\max}, \quad (3)$$

де X — сукупність незалежних параметрів, Y — сукупність залежних параметрів, Λ — сукупність зовнішніх параметрів, $F(X, Y, \Lambda)$ — система алгебраїчних та диференціальних рівнянь, що описують процеси в обладнанні блока та його техніко-економічні оцінки. В процесі синтезу схеми ці-

льовою є функція сумарних дисконтованих затрат Z_{Σ} , для режимних (гарантійних, пікових, з додатковими відборами пари та інших) розрахунків схеми енергоблока цільовими є функції потужності N та питомих витрат палива q .

Ці задачі розв'язуються за допомогою відповідних програмних реалізацій математичних моделей, які на машинобудівних підприємствах об'єднуються в системи автоматизованого проектування — САПР. Оскільки енергоблок проектується для базового, номінального режиму роботи, то більшість математичних моделей САПР є моделями статички.

Головним завданням персоналу ТЕС є забезпечення безаварійної та економічної експлуатації ТЕС. В обов'язки оперативного персоналу входять випробування пристроїв автоматики, сигналізації, захистів, виконання перемикачів, ведення необхідного режиму роботи, локалізація аварій, відновлення режиму роботи і так далі. Навчання оперативного персоналу відбувається за допомогою комп'ютерних тренажерів. Тренажер повинен охоплювати, в ідеалі, всі можливі режими роботи блока ТЕС та імітувати динаміку процесів у часі. Розробка універсальних тренажерів в енергетиці є надзвичайно актуальною задачею та затребувана у всьому світі. В [1]—[3] наведені опис та можливості програмного комплексу для вивчення студентами динамічних систем в теорії регулювання та ознайомлення з управлінням енергетичними установками на заняттях з електроенергетичних та теплоенергетичних дисциплін. Для цього створені комп'ютерні моделі контрольно-вимірювальних приладів, електричних двигунів, електрогенераторів, енергоустановок (газотурбінних, гідравлічних, дизельних, сонячних, вітрових, на біомасі). Міра деталізації моделювання ЕУ визначена метою розробників: показати користувачеві основні принципи роботи ЕУ, дидактично розкриваючи елементи та параметри генерації електричної енергії. В [4] описані методи та, що дуже важливо, алгоритми розв'язку тривимірної задачі нестационарної теплопровідності. Наведені результати розрахунків перехідних та усталених теплових процесів в електронних пристроях з повітряним та рідинним охолодженням. Показано, що різниці дійсних та розрахованих температур менше шести відсотків. В [5], [6] розглянуті методичні та практичні питання розробки тренажерів оперативно-диспетчерського персоналу електроенергетичних систем (ЕЕС). Створені математичні моделі режимів роботи ЕЕС, які використані в тренажерах для персоналу підстанцій та ЕЕС України.

Основою роботи є метод математичного моделювання енергетичних установок ІПМаш-ВНТУ. В Інституті проблем машинобудування (ІПМаш) НАНУ під керівництвом головного конструктора заводу «Турбоатом» академіка НАНУ Л. О. Шубенко-Шубіна створено метод математичного моделювання статичних режимів роботи принципів теплових схем турбоустановок ТЕС та АЕС, який задіяно в САПР продукції «Турбоатому». У ВНТУ цей метод розвинено в напрямку моделювання динаміки процесів в розгорнутих теплових схемах теплових електростанцій для комп'ютерних тренажерів. Згідно з цим методом для передання структури ЕУ використані графові уявлення. Елементи теплового та електромеханічного устаткування відображаються вузлами графа, а зв'язки між ними — дугами графа. Орієнтація дуг графа збігається з напрямком руху енергоносіїв. Конструктивно-технологічна відповідність устаткування установки графа досягається присвоєнням його дугам кодів K_D і вузлам K_V . Граф інтерпретується, як інформаційна мережа (I -мережа), потоками якої є параметри енергоносіїв $Y_j = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ в технологічних зв'язках (дугами графа), а параметрами потенціалів — характеристики $X_j = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ елементів устаткування (вузлів графа). На технологічному графі (G^T — графі) визначена система DF декодувальних функцій, для отримання тих або інших предметних характеристик (кодів, термів) елементів графа. За допомогою декодувальних функцій будуються логічні функції (предикати) $l_i(G^T, DF)$, які набувають значення 0 або 1 в залежності від виконання певних умов. Наприклад, належить або не належить код цього вузла підмножині кодів вузлів котлоагрегату, належить чи не належить ця дуга підмножині дуг, інцидентних деякому вузлу та інше. Фізичні процеси в ЕУ описуються системою з рівнянь збереження відповідно маси, кількості руху, енергії, рівнянь приросту ентропії та стану робочих тіл та теплоносіїв. Основна особливість цієї системи є в тому, що кількість та вид рівнянь кожного типу залежить від технологічної установки (число апаратів, їх призначення, засобу з'єднання, конструктивного виконання), тобто логічної інформації. Враховуючи цю особливість доцільно представити математичну модель ЕУ у вигляді сукупності логіко-числових операторів, які відображають трансформацію форм рівнянь названих типів (числових функцій) в залежності від технологічних кодів вузлів та дуг графа (логічних змінних) і автоматично формуючих на графі

необхідну систему рівнянь. Математична модель енергетичної установки має вигляд

$$\Delta PS(G^T, I, DF) / \Delta_r LT(G^T, I, DF) = 0, \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$I = \{I_i, I_j\}, \quad C_i^{\min} \leq C_i \leq C_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

де Δ — знак логіко-числового оператора; PS — оператор обробки результатів обчислень для подальшого їхнього виведення на дисплей в зображеннях приладів і в табло сигналізації; LT — ідентифікатор логіко-числового оператора; I — множина параметрів інформаційної мережі; C_i^{\min}, C_i^{\max} — граничні значення параметрів інформаційної мережі; G^T — технологічний граф схеми установки.

Кожний з логіко-числових операторів є сукупністю ієрархічно підлеглих логіко-числових модулів

$$\Delta_r LT(G^T, I, DF) = U_{r=1}^s l_{t_i}(G^T, I, DF), \quad (5)$$

де $U_{r=1}^s$ — символ об'єднання; l_{t_i} — логіко-числовий модуль r -го рівня. Так, логіко-числовий оператор «ККД турбіни» має модулі трьох рівнів розрахунку. На першому рівні значення ККД попередньо задається. На другому рівні за термодинамічними параметрами турбіни, визначеними за заданим ККД, використовуючи методику фірми «General Electric», розраховується новий ККД турбіни. На третьому рівні цей ККД уточнюється системою ідентифікуючих рівнянь, коефіцієнти яких визначені за результатами теплових випробувань турбіни-аналога. Модуль записується, як добуток логічної та числової функцій

$$l_{t_i}(G^T, I, DF) = l_i(K_v, K_d, DF) \cdot t_i(x, y), \quad x, y \in I, \quad (6)$$

де l — логічна функція; t — числова функція (наприклад, рівняння процесу); x, y — залежні та незалежні змінні.

За цим методом створена математична модель статичних режимів роботи енергоблока 300 МВт для проектних досліджень та математична модель динамічних режимів роботи цього блока для комп'ютерного тренажера.

Для проектних досліджень з модернізації блока за відомою методикою також розроблена програма розрахунків водосховища. Вона визначає його гідрологічні параметри: температури поверхні води, охолодженої води, поверхні льоду, дату початку льодоставу; дату очищення від льоду; площу льодового покриття, максимальну товщина льоду, шар випареної води за рік. На сьогодні температура довкілля перевищує проектну, що призводить до недовироблення електроенергії блоком. Підвищення температури довкілля відбилося, насамперед, на водосховищі, на маслоохолоджувачах, в яких мастило охолоджується водою з водосховища, та на конденсаторі. Виконані дослідження сучасних гідрологічних режимів водосховища, за результатами яких знайдені економічні вакууми (оптимальні тиски) для наявної ТЕС та розраховані маслоохолоджувачі і конденсатори для їхньої модернізації. Результати оптимізації конденсатора подані в табл. 1.

Таблиця 1

Результати оптимізації конденсатора

Варіант	Площа теплообміну $F, \text{ м}^2$	Активна довжина труб $L, \text{ м}$	Тиск $P_k, \text{ кПа}$	Кількість труб, n	Витрата охолоджувальної води $W, \text{ т/год.}$
наявний	15000	8,9	3,43	19892	34805
оптимальний	16265	8,6	3,33	21500	41000

Результати розрахунків маслоохолоджувача подані в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків маслоохолоджувача

Варіант маслоохолоджувача	Площа теплообміну $F, \text{ м}^2$	Активна довжина труб $L, \text{ м}$	Потужність електроприводів насосів $N_{ep}, \text{ кВт}$	Загальний гідравлічний опір масляної сторони, $\Delta P_m, \text{ м. в. ст.}$	Загальний гідравлічний опір водяної сторони $\Delta P_v, \text{ м. в. ст.}$
наявний	53,8	1,75	94,5	11,2	2,86
оптимальний	61,51	2,08	115,57	16,46	3,76

Як видно з таблиць 1 та 2, через підвищення температури довкілля помітно зросли площі опти-

мальних поверхонь теплообміну конденсатора та маслоохолоджувача.

Серед нормальних режимів роботи енергоблока найскладнішим є його пуск з холодного стану. Першим етапом цього режиму є «Пуск конденсаційної установки та набирання вакууму». Для набуття навичок виконання цього етапу створене *навчальне заняття*, яке виконується на комп'ютерному тренажері енергоблока.

Назви заставок на екрані дисплея (екранів) для заняття такі. «Конденсатор 1» — схема конденсатора з пусковим ежектором (ПЕ) та охолоджувачами машин та механізмів. «Конденсатор 2» — схема конденсатора з циркуляційними насосами (ЦН) та пусковим ежектором. «Конденсатор 3» — схема конденсатора з переливом конденсату зі змішувального підігрівача низького тиску СПНД-2 в конденсатор. «Насосна» — схема берегової насосної станції. «Ущільнення» — схема ущільнень турбогенератора та штоків клапанів турбіни. «Електрогенератор» — схема охолодження електрогенератора ТГВ-300 і подачі конденсату на регулювання. «Колектор» — схема загальностанційних паропроводів колекторів 13 кгс/см², 6 кгс/см² та 2,3 кгс/см². «СПНД-2» — схема підігрівачів низького тиску зі значеннями рівнів конденсатів пари, що гріє, в них. «БЩУ» — зображення фрагмента блочного щита управління.

Мета та план заняття. У вихідному стані устаткування конденсаційної установки є сухим та холодним, вакуум в конденсаторі та у всмоктувальних патрубках ежекторів P_{vak} дорівнює нулю. В кінцевому стані хімічно очищена вода рухається по колу «конденсатор — насос знесолювальної установки (НОУ) — основні ежектори (ОЕ) — ежектор ущільнень (Еу) — змішувальні підігрівачі низького тиску (СПНД) — конденсатор». Вакуум P_{vak} становить 710...730 мм. рт. ст.

Переведення установки в кінцевий стан виконується в такій послідовності:

1. Заповнюється конденсатор хімічно очищеною водою.
2. Вмикаються циркуляційні насоси (ЦН).
3. Вмикається пусковий водоструменевий ПЕ для відсмоктування повітря зі зливних камер конденсатора та встановлюється витрата циркуляційної води через конденсатор.
4. Заповнюються циркуляційною водою фільтри ФС-400, маслоохолоджувачі, охолоджувачі газового циклу (ОГЦ), вмикаються газоохолоджувачі електрогенератора (ГО) і насоси газоохолоджувачів (НГО).
5. Вмикається один НОУ на рециркуляцію переливом води з СПНД-2 в конденсатор.
6. Вмикається валоповоротний пристрій турбіни (ВПУ).
7. Подається пара до ущільнень турбіни та вмикається ежектор ущільнень (Еу). Пара береться з загальностанційного колектора. При пуску першого енергоблока пара до колектора надходить від пусконаладжувальної котельні з паровими котлами ДКВР-10. Тобто пуск ТЕС без стороннього джерела пари неможливий.
8. Вмикаються ОЕ та ПЕ на відсмоктування пароповітряної суміші з конденсатора турбіни і контролюється набирання вакууму в ньому.
9. Вмикаються бризкальні пристрої.
10. Параметри запущеної конденсаційної установки порівнюються з нормативними. Параметри агрегатів конденсаційної установки повинні бути близькими до таких нормативних значень. Основні ежектори: витрата робочої пари G_p — 1 т/год; тиск робочої пари P_p — 2–6–7 кгс/см²; температура робочої пари t_p — 150...170 °С; витрата повітря G_a — 0,025 т/год; температура пароповітряної суміші на вході t_1 — 70 °С; тиск пароповітряної суміші на вході P_1 — 0,04 кгс/см²; температура повітря на виході t_2 — 30 °С; витрата води G_v — 90 т/год; температура води на вході t_v — 40 °С; на виході t_{v2} — 50 °С. Пусковий ежектор: витрата води G_v — 700 т/год, тиск води P_v — 6 кгс/см², витрата повітря G_a — 0,06 т/год. Ежектор ущільнень (8М): витрата робочої пари G_p — 0,7 т/год; тиск робочої пари P_p — 6 кгс/см²; температура робочої пари t_p — 170 °С; витрата повітря G_a — 1,5 т/год; тиск повітря P_a — 0,97 кгс/см²; температура повітря t_a — 55 °С; витрата води G_v — 100 т/год; температура води на вході t_{v1} — 48 °С; температура води на виході t_{v2} — 55 °С; тиск ущільнювальної пари P_{yp} — 1,1 кгс/см².

Для наочності на рис. 1 на екрані показані положення органів регулювання УП та параметри блока, виведеного на заданий режим роботи. Екрани «Конденсатор 1», «Конденсатор 3», «Насосна», «Ущільнення», «Електрогенератор», «Колектор», «СПНД-2», «БЩУ» не показані.

Порядок виконання навчального заняття на комп'ютерному тренажері.

1. Відкрити заставку на екрані «Конденсатор 2».
2. 1021, 1024 — відкрити. Заповнити паровий простір конденсатора до рівня 1700 мм.
3. Затвори Зат-А, Зат-Б, 1053, 1054 — відкрити. Засувки на лініях відведення частини циркуляційної води на маслоохолоджувачі та інші потреби МРЛЦН-А, МРЛЦН-Б — відкрити на 100 %. Засувки К 1051, К 1052, К 1054 — відкрити. Насос ЦН-А — ввімкнути. Насос пускового ежектора (НПЕ) — ввімкнути. Засувку Ц-2 — відкрити.

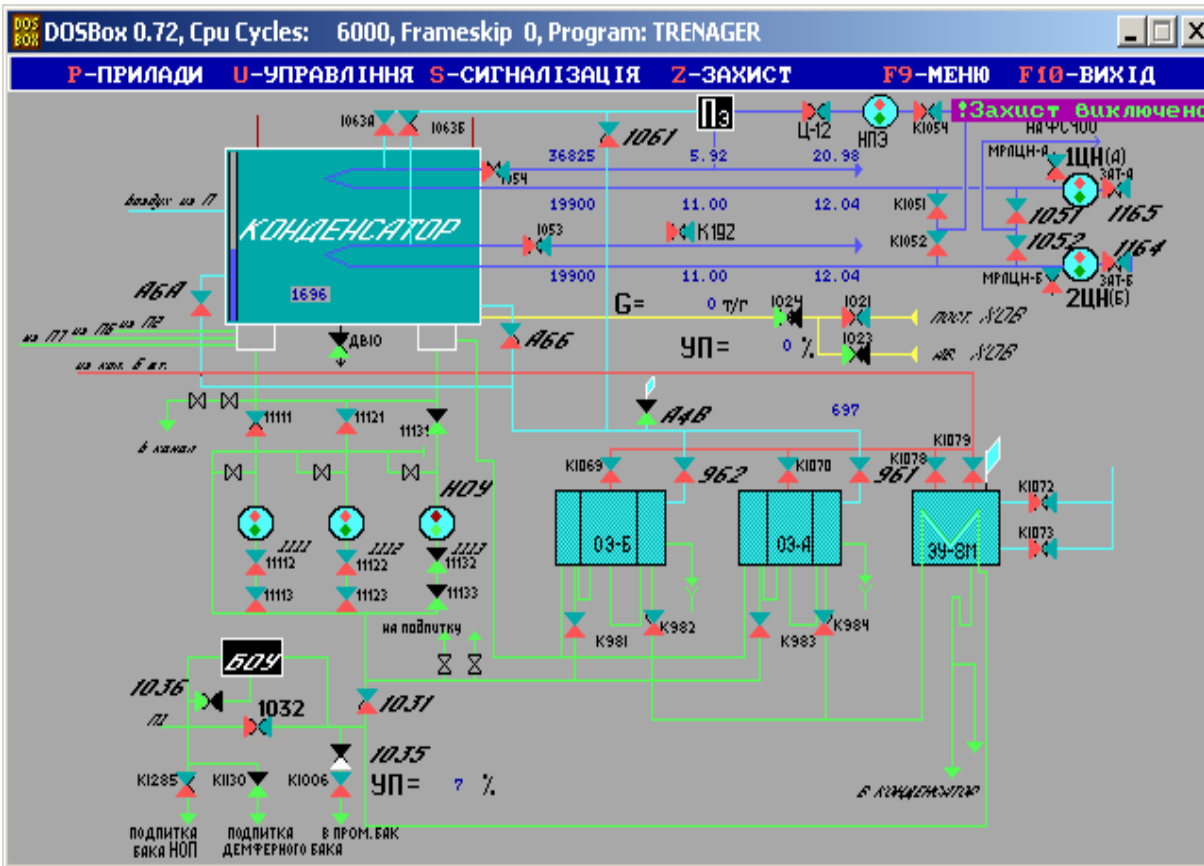


Рис. 1. Заставка на екрані «Конденсатор 2»

4. Витрата циркуляційної води повинна бути в межах 18000...19000 т/год. Якщо вона значно менша, то необхідно видалити повітря зі зливних камер конденсатора, для чого: 1063 А, 1064 Б — відкрити. У разі витрати 18000...19000 т/год, ЦН-Б — ввімкнути. У разі витрати 36000...38000 т/год, — 1063А, 1063Б — закрити.

5. Відкрити заставку на екрані «Конденсатор 1». 1051, 1052 — відкрити. К 1215, К 1216, К 1217, К 1218, К 1219, К 1220, К 1221, К 1222, К 1223, К 1224 — відкрити. К 1211, К 1213 — відкрити. 1065 А, 1065 Б, 1066 А, 1066 Б — відкрити. ЦН-Б — відключити. 1052 — закрити.

Відкрити заставку на екрані «Електрогенератор». К 1098, К 1091, К 1092 — відкрити. К 1094, К 1095 — відкрити. К 1098, К 1099, К 1100, К 1101, К 1102, К 1103, К 1104 — відкрити. К 1105, К 1107, К 1108, К 1110 — відкрити. К 1156, К 1157 — ввімкнути. К 1095, К 1097 — відкрити.

6. Відкрити заставку на екрані «Конденсатор 2». 1111-1, 1112-1, 1113-1 — відкрити. 1031 — закрити. К 1006 — відкрити. К 981, К 982, К 983, К 984 — відкрити. Відключити блочну знесолювальну установку (БОУ), для чого: 1032 — відкрити; К 229, К 230 — відкрити; К 1081, 1011, 1014 — відключити; 1111, 1112, 1113 — ввімкнути; 1111-2, 1112-2, 1113-2 — перевірити відкриття. 1111-3, 1112-3, 1113-3 — відкрити. Відкрити заставки на екрані «Конденсатор 3» та «СПНД-2». Спостерігати за рівнями води в СПНД-2 під перегородкою Н2 та над перегородкою Н1. Після підвищення в СПНД-2 рівня води Н2 до 160...180 см починається зростання рівня води Н1 і перелив води з СПНД-2 в конденсатор. Величина Н1 не повинна перевищувати 40 см. Відкрити заставку на екрані «СПНД -2», «Конденсатор 2». Контролювати роботу схеми «конденсатор — НОУ — ОЕБ — ОЕА — Еу — 8М — СПНД-1 — СПНД-2 — конденсатор» за витратою води G , яка за умови ввімкнених всіх НОУ дорівнює 1000 т/год. Залишити ввімкненим лише НОУ-1 (1111), для чого: 1112, 1113 — вимкнути. 1112-3, 1113-3 — закрити.

7. Відкрити заставку на екрані «БЦУ». ВПУ — увімкнути.

8. Відкрити заставку на екрані «Ущільнення». К 1160 — закрити. Ввійти до розділу «ТЕС», екран «Колектор». Клапан регулятора тиску 966 — відкрити; задавачем задати тиск 1,2 кгс/см²; поставити регулятор на «автомат». 965 — відкрити. Клапан регулятора тиску 764 — відкрити, задавачем встановити тиск 6 кгс/см², поставити на «автомат». Міру відкриття клапана регулятора показує вказівник положення клапана УП. 763, К 1136 — відкрити. Відкрити заставку на екрані

«Ущільнення»; К 1078, К 1079 — відкрити. К 1072, К 1073 — відкрити. К 1166, К 1167, К 1168, К 1169, К 1172, К 1173 — відкрити. К 1170, К 1174 — відкрити. К 1170, К 1174 — відкрити. Тиск пари в колекторі ущільнювальної пари повинен дорівнювати $1,1 \dots 1,2$ кгс/см². Тиск в колекторі пароповітряної суміші, яка відсмоктується ЕУ-8М, повинен складати $0,94 \dots 0,97$ кгс/см².

9. Відкрити заставку на екрані «Конденсатор 2». К 1069, К 1070 — відкрити. А6А, А6Б — відкрити. 1061 — відкрити.

10. Відкрити заставку на екрані «Насосна». Ввімкнути всі насоси та відкрити усі засувки насосної станції.

11. Відкрити заставку на екрані «Конденсатор 2».

Після досягнення вакууму у всмоктувальному патрубку ежекторів і в конденсаторі рівня $710 \dots 730$ мм. рт. ст. вивести через БВК (блок вибіркового контролю) параметри ОЕ-А, ПЕ, Еу і порівняти їх з нормативними, наведеними вище.

Всього для досягнення мети заняття необхідно виконати близько 120 операцій відкриття та закриття засувок, ввімкнення насосів та регуляторів, виведення показів вимірювальних приладів.

Висновки

1. Інститутом проблем машинобудування НАНУ та ВНТУ створено метод математичного моделювання теплових схем та обладнання енергоблоків ТЕС для систем автоматизованого проектування та комп'ютерних тренажерів.

2. Розроблено комп'ютерні програми теплогідравлічних розрахунків складових низькопотенційної частини енергоблоку ТЕС — конденсаційної установки, водосховища та маслоохолоджувачів.

3. Досліджено вплив підвищення температури довкілля на низькопотенційну частину енергоблоку ТЕС. Результати досліджень показали доцільність збільшення поверхонь теплообміну конденсатора до 16265 м² та маслоохолоджувача до $61,51$ м². Оптимальний тиск в конденсаторі дорівнює $3,33$ кПа.

4. Розроблено навчальне заняття з набуття навичок експлуатації устаткування низькопотенційної частини енергоблоку ТЕС на комп'ютерному тренажері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Simulateur de Régulation et de Contrôle de Centrales Électriques, *Contrôle par Ordinateur* (PC), avec SCADA SCE, 2020. [Electronic resource]. Available: <https://www.edibon.com/fr/simulateur-de-regulation-et-de-contrôle-de-centrales-electriques-contrôle-par-ordinateur-pc/catalogue>.

[2] *Basic Teaching Unit for the Study of Regulation and Control RYC/B*, 2022. [Electronic resource]. Available: <https://www.edibon.com/fr/unite-de-base-d-enseignement-pour-l-etude-de-regulation-et-contrôle/catalogue>.

[3] *Logiciel de Simulation de Centrales Électriques*, EDIBON ®. [Electronic resource]. Available: <https://www.edibon.com/fr/logiciel-de-simulation-de-centrales-electriques>.

[4] A. Fourmigue, "Méthodes de calcul numérique pour la simulation thermique des circuits intégrés." Ph.D. thesis, École Polytechnique de Montréal. 2014. https://publications.polymtl.ca/1580/1/2014_AlainFourmigue.pdf.

[5] О. В. Аветісян, В. О. Гурєєв, і О. В. Сангінова, «Розробка та застосування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів, навчання і тренажу персоналу ОЕС України,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 101-107, 2016.

[6] В. О. Гурєєв, «Методи і комп'ютерні технології побудови веб-орієнтованих тренажерних систем оперативно-диспетчерського персоналу магістральних електромереж.» — На правах рукопису. Дис. д-ра техн. наук, спец. 01.05.02 — Математичне моделювання та обчислювальні методи. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, Київ, 2020.

Рекомендована кафедрою комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.21

Нанака Олена Миколаївна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Головченко Олексій Михайлович — канд. техн. наук, доцент, Вінниця

O. M. Nanaka¹
O. M. Golovchenko

Mathematical Modeling and Research of the Low-Potential Part of the TPP Power Unit in the Problems of its Design and Operation

¹Vinnitsia National Technical University

The purpose of the work is to create mathematical models and computer programs for solving the problems of designing and operating the low-potential part of the power unit of a thermal power plant (TPP). The tasks of designing the thermal circuit of the TPP power unit are the synthesis of the optimal thermal circuit in terms of structure and parameters in the basic mode of operation and calculations of the circuit in modes other than the basic one. An important task of power unit operation is the training of its personnel. Computer simulators are the effective facilities of such training. Mathematical models of static and dynamic modes of the power unit, which are necessary for the performance of these tasks, were developed using the method of Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine — VNTU of the logic-numerical modeling of power plants (PP). The components of the method are the following techniques: transfer of structural and technological structures of the PP, logical-numerical modeling of physical processes in the PP equipment, identification of mathematical models of the PP equipment, management of software implementation of the PP mathematical model. PP structures are transferred by graphs. Processes are described by the equations in the form of products of numerical and expressive functions. The essence of the identifiable model of the equipment element to determine its characteristics is as follows: 1) the basis of the model is the integral (simplified) method of determining this characteristic; 2) the method is supplemented by a system of identifying equations, the type of which is established on the basis of mathematical processing of the material based on the results of a physical experiment; 3) empirical coefficients in this system are considered average values and may change in specific cases of model implementation; 4.) it is assumed that for this model it is possible to obtain some limited information about the characteristics of the modeled element; 5) the task is to choose the values of the empirical coefficients of the model so that the deviations of the values of the characteristics determined using the model from the known ones are minimal. Model identification based on experimental (calculated or actual) data is performed by the method of least squares. Management of software implementation of the PP model consists of internal and external. Internal management consists in ensuring the functioning of the operator system as a whole (with the codes of nodes and arcs) graph and its information network. Depending on the logical information contained in the technological graph, the expressive functions of the logical-numerical modules take specific values, which results in the formation and solution of a system of equations and inequalities. External control of the independent variables of the mathematical model is performed using their optimization program or from the display screen for variant calculations. According to the mentioned method, mathematical models of static modes of the block for its design and mathematical models of dynamic modes of the block for the computer simulator were developed. Calculation programs for reservoirs and oil coolers have also been developed.

Today, the ambient temperature exceeds the design temperature, which led to underproduction of electricity by the TPP unit. The results of the study of modern hydrological regimes of the reservoir are presented, the expediency of increasing the heat exchange surfaces of the condenser and oil cooler is shown. Economic vacuums in the condenser of the operating unit for the increased, as compared the design values of water temperatures in the reservoir are calculated.

To acquire the skills of managing the equipment of the low-potential part, a training lesson was developed, which is performed on the computer simulator of the unit. The purpose of the training lesson is to start and create a vacuum in a condensing unit. The main tasks of the lesson are to fill part of the inter-tube space of the condenser with water from the chemically treated water supply tanks, supply circulating water from the reservoir to the condenser tubes, and reduce the pressure of the medium in the inter-tube space of the condenser from atmospheric to vacuum. The fulfillment of the tasks of the training lesson is the compliance of the achieved parameters of the condensing unit with their normative values.

Keywords: mathematical modeling, TPP, power unit, condensing unit, reservoir, computer simulator.

Nanaka Olena M. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, e-mail: e_nanaka@ukr.net ;

Golovchenko Oleksiy M. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Vinnitsia