

Из рис.4 следует, что в результате вынужденного действия подводимого газа в верхней зоне цилиндрической части аппарата формируется мощный торроидальный вихрь (а), который по мере приближения к питателю деформируется (b) и у самого питателя распадается (с).

Из рис.5 следует, что в зоне верхнего отверстия аппарата вследствие существования глобального вихря создается зона пониженного давления, что приводит к втягиванию через это отверстие окружающего воздуха. В нижней же части аппарата, у питателя, воздух покидает аппарат. Эти поля скоростей необходимы для расчета траекторий движения частиц материала в объеме вихревой камеры.

Проверка адекватности полученной математической модели газодинамики потока была проведена по стандартной методике планирования эксперимента, изложенной в [4].

Полученные данные могут использоваться в методиках расчета тепломассообменных вихревых устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 26821 Україна, МПК F 26 В 17/10. Пристрій для отримання гранульованого наповнювача теплоізоляційного матеріалу / Павленко А.М., Соколовська І.Є., Кошляк Г.В., Клімов Р.А.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № у 200705035; заявл. 07.05.07; опубл. 10.10.2007, Бюл. №16.
2. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред / Белоцерковский О.М. – М.: «Наука», 1984. – 520 с.
3. Огурцов А.П. Методы расщепления в задачах гидродинамики и тепломассопереноса / Огурцов А.П., Самохвалов С.Е., Надрьгайло Т.Ж. – Днепропетровск: Системные технологии, 2003. – 256 с.
4. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / [Хартман К. и др.] – М.: Мир, 1977. – 552с.

Поступила в редколлегию 12.01.2012.

УДК 658.26

КЛІМОВ Р.О., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

НАДІЙНІСТЬ ВІДПУСКУ ЕНЕРГІЇ ВІД ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛІ

Вступ. Основна функція систем теплопостачання – забезпечення споживачів теплової енергії відповідно до необхідного графіка теплових навантажень. При цьому рівень електричної потужності, як правило, визначається тепловим навантаженням. Функціональне призначення систем теплопостачання є основою для формування поняття надійності теплопостачання. Як правило, теплофікаційні установки теплоелектроцентралей (ТЕЦ) є комбінованими установками, на яких здійснюється комбіноване вироблення електричної і теплової енергії. Багатофункціональність ТЕЦ визначається не тільки багатоцільовим характером використання, але і постачанням електричної і теплової енергії великій кількості різнорідних споживачів, що пред'являють різні вимоги до надійності енергопостачання. Таким чином, надійність систем теплопостачання – комплексна властивість, яка визначається функціональним призначенням та умовами експлуатації і характеризується одиничними і комплексними показниками, згаданими вище.

Комбінована система теплопостачання включає основне джерело теплопостачання (ТЕЦ), що складається з однотипних або різнотипних енергоустановок з комбінованим виробленням електричної і теплової енергії, однотрубну систему транспорту гарячої води для гарячого водопостачання і газотурбінну міні-ТЕЦ, що включає в загальному випадку декілька теплофікаційних газотурбінних установок (ГТУ), що покривають навантаження опалення.

Аналіз надійності систем теплопостачання необхідно проводити з позицій здатності виконання заданих функцій. Здатність системи теплопостачання виконувати задані функції визначається її станами з відповідними рівнями потужності, продуктивності і т.д. Відповідно до цього необхідно розрізняти працездатний стан, часткову відмову і повну відмову системи в цілому.

Постановка задачі. Комбінована система теплопостачання є складною структурою, для якої розрахунок показників надійності є досить складним завданням. Тому для розрахунку надійності такої системи теплофікації використовують методи декомпозиції, відповідно до яких математична модель розрахунку системи ділиться на ряд підмоделей. Цей поділ здійснюється за технологічною і функціональною ознаками. Такий підхід дозволяє проводити розрахунок для окремих підсистем незалежно.

Комбіновані енергоустановки ТЕЦ промислово-опалювального і опалювального типів, призначені для комбінованого вироблення електроенергії, технологічної пари і гарячої води, є найбільш складними в технологічному, структурному і функціональному відношенні. Для них є характерною взаємозалежність виробництва вказаних видів енергії. Розрахунок надійності комбінованих енергоустановок проводиться в припущенні, що кожен її елемент у будь-який момент часу планової роботи знаходиться в одному з їх двох станів – працездатності або непрацездатності, тобто характеризується індикаторною діаграмою вигляду

$$x_i(t) = \begin{cases} 1, \text{якщо } t \in t_p; \\ 0, \text{якщо } t \in t_g, \end{cases} \quad (1)$$

де t_p – період часу нормального функціонування;

t_g – період часу відновлення відмови.

Представляючи структурну схему комбінованої енергоустановки у вигляді послідовних сполучених агрегованих блоків, кожен з яких містить $L_i = M_i + R_i$ елементів, де M_i і R_i відповідно число робочих і резервних елементів i -го блоку, будь-який з стан характеризується $(n+m)$ -мірним вектором вигляду

$$\{k_1^z, \dots, k_n^z, N_p^z, Q_{pr}^z\} = \{k^z, N_p^z, Q_{pr}^z\}, \quad (2)$$

де k_i^z – число працездатних елементів i -го блоку;

N_p^z – робоча електрична потужність в z -му стані;

Q_{pr}^z – робоча продуктивність по відпуску теплоти r -м теплоносієм;

n – число можливих станів системи;

m – число видів енергії і енергоносіїв, що відпускаються системою.

Величина робочої потужності енергоустановки в z -му стані розраховується за принциповою тепловою схемою з урахуванням наявних коефіцієнтів запасів i -го елемента ρ_i , структурної схеми і впливу елементів, що відмовили, на технологічні процеси в інших елементах. Розрахункова формула для визначення електричної потужності установки має вигляд:

$$N_p^z = \min N_{pi}^z = \rho_i \left[1 - \frac{k_i^z - R_i}{M_i} \right] N_n, \quad (3)$$

де k_i^z – число працездатних елементів в i -му блоці однотипних елементів в z -му стані;

N_n – номінальна потужність установки у повністю працездатному стані.

Для заданого варіанту структурної схеми енергоустановки розрахункові формули для визначення величини вихідного ефекту по відпуску теплової енергії мають вигляд:

- за відсутності резерву в i -му блоці (наприклад, редуційно-охолоджувальна установка (РОУ)), тобто при $Q_{ri} = 0$

$$Q_p^z = \min Q_{p\Sigma}^z = \rho_i \left[1 - \frac{k_i^z - R_i}{M_i} \right] Q_{ном}, \quad (4)$$

- у випадку, коли $Q_{ri} \neq 0$ та $0 < Q_{ri} < \rho_i \left[\frac{R_i - k_i^z}{M_i} \right] Q_{ном}$,

$$Q_p^z = \min Q_{p\Sigma}^z = \rho_i \left[1 - \frac{k_i^z - R_i}{M_i} \right] Q_{ном} + Q_{ri}, \quad (5)$$

- у випадку, коли $(1 - k_i^z) < R_i$ та $Q_{ri} > \rho_i \left[1 - \frac{k_i^z - R_i}{M_i} \right] Q_{ном}$, отримаємо

$$Q_p^z = Q_{ном}. \quad (6)$$

У основі розрахунку структурної надійності комбінованої енергоустановки лежить опис її функціонування за допомогою марківського процесу з дискретною безліччю станів і безперервним часом. Основною передумовою використання цієї моделі є ухвалення експоненціальних законів розподілу часу безвідмовної роботи і відновлення елементів [1].

Будемо вважати, що у момент часу t система знаходиться в i -му стані з вірогідністю P_i . Вірогідність переходу системи за період часу Δt з i -го стану в будь-який інший j -ий стан запишеться у вигляді [2]

$$P_1 = [1 - P_{ii}(t + \Delta t)] \cdot P_i(t) = A_i(t) \cdot \Delta t \cdot P_i(t), \quad (7)$$

де $P_{ii}(t + \Delta t)$ – вірогідність того, що система за період часу Δt залишиться в i -му стані.

Вірогідність P_2 переходу системи з j -го стану в i -ий

$$P_2 = \sum_{j \neq i} P_{ji}(t + \Delta t) \cdot P_j(t) = \sum_{j,j=0} \lambda_{ji} \cdot \Delta t P_j(t), \quad (8)$$

де λ_{ji} – інтенсивність відмов.

З (7) і (8) витікає, що

$$P_i(t + \Delta t) - P_i(t) = A_i(t) \cdot \Delta t P_i(t) + \sum_{j,j=0} \lambda_{ji} \cdot \Delta t P_j(t). \quad (9)$$

Після нескладних перетворень рівняння (9) набуває вид системи диференціальних рівнянь першого порядку

$$\frac{\partial P(t)}{\partial t} = \begin{vmatrix} -A_1(t) & \lambda_{21}(t) & \dots & \lambda_{k1}(t) \\ \lambda_{12}(t) & -A_2(t) & \dots & \lambda_{k2}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{1k}(t) & \lambda_{2k}(t) & \dots & -A_k(t) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \dots \\ P_k(t) \end{vmatrix}. \quad (10)$$

У матричному вигляді рівняння (10) має вигляд [3]

$$\frac{\partial P(t)}{\partial t} = \Lambda(t) \cdot P(t), \quad (11)$$

де $\Lambda(t)$ – матриця інтенсивностей переходів;

$P(t)$ – вектор-стовпець вірогідності станів.

Для розв'язання системи рівнянь використано відомий метод Рунге-Кутта. Слід зазначити, що при досить великій кількості елементів в системі розв'язання рівняння (10) в обчислювальному відношенні стає вельми складним. Істотне спрощення рішення задачі (10) досягається для стаціонарного випадку, тобто коли $\frac{\partial P(t)}{\partial t} = 0$ і система (11)

перетворюється на систему алгебраїчних рівнянь.

Процедури формування простору станів, матриці інтенсивностей переходу і розв'язання системи диференціальних рівнянь формалізовані і представлені у вигляді програмно-обчислювального комплексу. Представляючи необхідні рівні функціонування у вигляді функцій N_{sj} ($j=1, \dots, G$) і Q_{srj} ($j=1, \dots, G$), всі стани комбінованої енергоустановки поділяються на дві підмножини. Одна з них характеризується рівнями працездатності $N_p^z > N_s$ і $Q_{pr}^z > Q_{sr}$, а інша – станами відмови працездатності або відмови функціонування. Якщо вірогідність P_z станів визначена, то вірогідність знаходження енергоустановки в сукупному стані, тобто коефіцієнт ефективності функціонування системи тепlopостачання по відношенню до фіксованого рівня працездатності N_s і Q_{sr} , визначиться за формулами:

$$P_N(t) = k_z^e(N_s, t) = \sum P_z(N_p^z \geq N_s, t), \quad (12)$$

$$P_Q(t) = k_{zr}^Q(Q_{sr}, t) = \sum P_z(Q_{pr}^z \geq Q_{sr}, t). \quad (13)$$

Результати роботи. Викладена методика розрахунку показників надійності була використана для визначення показників надійності теплофікаційного блоку з турбінами Т-25-90. У розрахунках прийняті наступні початкові одиничні показники надійності енергоблоку [4]:

- котлоагрегату: $\lambda_k=6,25 \cdot 10^{-4}$ 1/Г, $\mu_k=1,66 \cdot 10^{-2}$ 1/Г;
- турбоагрегату: $\lambda_T=1,25 \cdot 10^{-4}$ 1/Г; $\mu_T=2 \cdot 10^{-2}$ 1/Г;
- електрогенератора: $\lambda_{er}=0,4 \cdot 10^{-4}$ 1/Г, $\mu_{er}=2,5 \cdot 10^{-2}$ 1/Г;
- теплофікаційної установки: $\lambda_{ty}=0,15 \cdot 10^{-4}$ 1/Г, $\mu_{ty}=1 \cdot 10^{-2}$ 1/Г;

На рис.1 показано зміну коефіцієнта готовності блоку по відношенню до відносного рівня теплової потужності $\bar{Q} = 1$. З рисунка видно, що через період часу 500 годин значення вірогідності стану не залежать від часу і набувають стаціонарних значень. Якщо в структурній схемі блоку відсутній структурний або функціональний резерв, то показники надійності блоку по відпуску теплової і електричної енергії практично збігаються (оскільки інтенсивність відмов теплофікаційної установки низька). При цьому надійність відпуску електричної і теплової енергії визначається в основному надійністю котельних агрегатів.

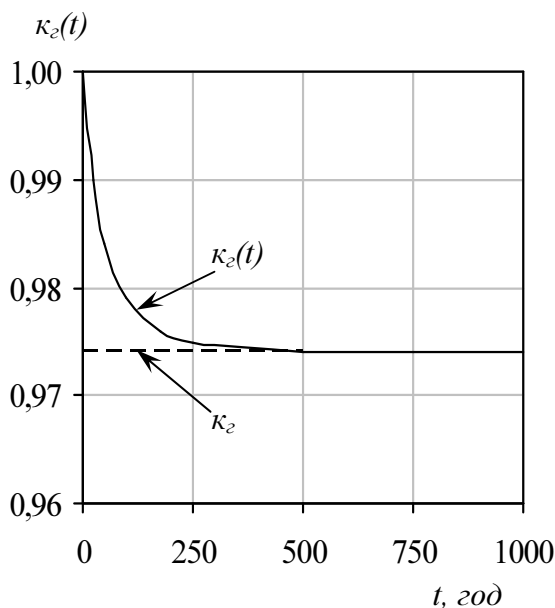


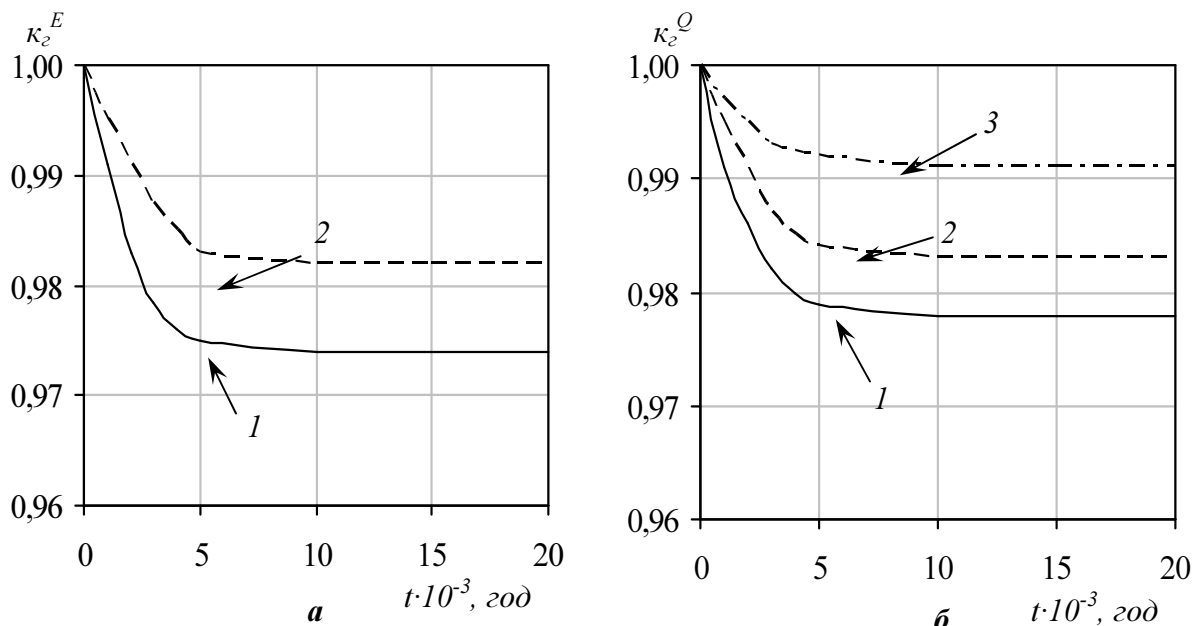
Рисунок 1 – Зміна коефіцієнта готовності блоку

Якщо в структурній схемі є функціональний резерв, то коефіцієнт готовності по відпуску теплової енергії різко зростає (за наявності РОУ). Найбільш високий коефіцієнт готовності по відпуску теплоти досягається в схемі, де є РОУ від колектора свіжої пари і від колектора пари 1,3 МПа.

У разі, коли на ТЕЦ є загальний колектор пари 1,3 МПа і його можна розглядати як структурний резерв, надійність блоку по відпуску гарячої води стає практично рівною на-

дійності відпуску пари з колектора пари тиском 1,3 МПа.

На рис.2 показано зміну взаємозалежних значень коефіцієнтів ефективності по відпуску електроенергії і теплоти для ТЕЦ з агрегатами Т-25-90. З рисунка видно, що показники надійності по відпуску теплоти для багатоблокових ТЕЦ істотно вищі, ніж для блоку. Наявність поперечного зв'язку на ТЕЦ по колектору пари 1,3 МПа і загального колектора по мережній воді знижує вірогідність невідпуску гарячої води.



1 – коефіцієнт готовності котла 0.96; 2 – коефіцієнт готовності котла 0.97; 3 – РОУ

Рисунок 2 – Зміна коефіцієнтів ефективності відпуску електричної енергії (а) та теплоти (б) на ТЕЦ

Таким чином, багатоблокові ТЕЦ з наявністю поперечних зв'язків і використанням функціонального резервування забезпечують достатньо високі показники по відпу-

ску теплоти. Ці показники знаходяться на рівні і перевищують нормовані значення по відпуску теплоти.

Висновки. Найважливішим результатом проведених розрахунково-теоретичних досліджень є те, що за допомогою розробленого підходу встановлено взаємозалежність між показниками надійності по відпуску теплоти і електроенергії. Це пояснюється тим, що при відмові якого-небудь елемента блоку наслідки відмови по відпуску електроенергії і теплоти різні. Так стан блоку, при якому електрогенератор непрацездатний і настигла відмова функціонування по відпуску електроенергії, система зможе забезпечити відпуск гарячої води в повному обсязі. Враховуючи ту обставину, що теплофікаційні блоки призначені для покриття теплових навантажень, доцільно використовувати структурний і функціональний резерв для підвищення надійності відпуску теплової енергії. Тому необхідно на ТЕЦ мати складнішу в сенсі надійності структурну схему з ширшим застосуванням структурного і функціонального резервування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В. – М.: Наука, 1985. – 524 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятности / Вентцель Е.С. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Гнеденко Б.В. – М.: Наука, 1965. – 342 с.
4. Надежность систем энергетики и их оборудование: справочник / под ред. Ю.Н.Руденко. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 480 с.

Надійшла до редколегії 21.12.2011.

УДК 532.5.072.12

КОШЛАК А.В., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

Введение. Прочность теплоизоляционных пористых материалов является важным показателем их свойств, обеспечивающим надежную и длительную эксплуатацию теплоизоляции на теплоагрегатах. В зависимости от объема, характера пористости, вида каркасообразующего вещества прочностные свойства материалов определяют показателями прочности: предел при сжатии $R_{сж.}$, при изгибе $R_{изг.}$ и растяжении $R_{раст.}$ Прочность известных материалов невелика и чаще всего находится в интервале значений 0,3-1,5 МПа [1].

На прочностные характеристики влияет также плотность материала [1]. По опытным данным при одинаковой относительной плотности прочность у материалов зернистой структуры ниже, чем ячеистой, что следует из графика (рис.1).

Поэтому на прочность материала влияет пористость, вид пор, плотность, состав сырьевой смеси, способ структурообразования и другие факторы. Таким образом, задача повышения прочности пористой структуры при сохранении теплофизических характеристик материала является комплексной задачей, решение которой можно найти экспериментальным путем.

Постановка задачи. Изучение особенностей процессов термического порообра-