

РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Афтанюк В.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м Одеса)

Сформовано узагальнену математичну модель теплофікаційної системи, що дозволяє проводити дослідження залежності оптимальної температури мережної води від величини технологічних теплових втрат при різних температурах зовнішнього повітря, та побудувати графіки оптимальної температури мережної води.

Система транспорту теплоти являє собою сукупність великої кількості теплообмінних пристроїв, об'єднаних у єдину систему генерації, переміщення та відпуску теплоти.

Визначення оптимальних параметрів температурного графіка відпустки теплової енергії (графіка центрального регулювання) є однією з складних проблем в області теплофікації та централізованого теплопостачання, для якої важко одержати аналітичне рішення [1].

Загальновідомо, що вибір оптимального температурного графіка водяної теплової мережі здійснюється при проектуванні системи теплопостачання на підставі техніко-економічних розрахунків.

Основними факторами, що впливають на вибір температурного графіка, є витрати на будівництво джерел теплоти, теплових мереж і споживаючого теплового обладнання, вартість палива, теплові втрати, витрати на транспорт теплоносія.

Питанню оптимізації температурного графіка систем центрального теплопостачання (СЦТ) приділена значна кількість робіт, однак у більшості випадків розглядалася робота систем теплопостачання при якісному режимі регулювання відпустки теплової енергії [2].

Для сучасних умов функціонування СЦТ це завдання особливо актуальне у зв'язку з переходом від якісного методу регулювання відпустки теплової енергії до кількісно-якісного.

Проблема пошуку оптимальної температури мережної води ускладнюється тим, що неможливо знайти загальне рішення абсолютно для всіх ТЕЦ, що зв'язано насамперед з більшим різноманіттям використовуваних парових турбін і їхніх конструктивних особливостей.

Розглянемо, як найбільш поширений випадок ТЕЦ із середніми параметрами пари для покриття теплових навантажень промислових і комунально-побутових споживачів.

Для дослідження впливу температури мережної води на споживання паливно-енергетичних ресурсів (ТЕР) у СЦТ була розроблена узагальнена математична модель теплофікаційної системи.

В основу математичної моделі теплових мереж покладена двохтрубна мережа, втрати енергії в трубопроводі на подолання гідравлічного опору визначаються як сума втрат на тертя h_v , що значно спрощує розрахунок у порівнянні з іншими методиками [3].

Основою розрахунку є визначення температури рідини t_{Hj} на початку та t_{kj} наприкінці кожної розрахункової ділянки трубопроводу, втрат напору h_j на подолання гідравлічного опору ділянок і необхідного тиску $N_{потр}$ для трубопроводу в цілому.

Розрахунок температури в кінцевому перетині j -го ділянки при стаціонарному режимі роботи трубопроводу виконується по рівнянню В.Г. Шухова [4]:

$$t_{kj} = t_{0j} + (t_{Hj} - t_{0j}) \cdot e^{-\frac{K_f \pi d_f l_j}{Q \rho_f c_f}} \quad (1)$$

Сполучення рішень виконується за умовою $t_{Hj+1} = t_{kj}$

Величина коефіцієнта теплопередачі K , визначається по формулі теплопередачі для труби з багатошаровою ізоляцією:

$$\frac{1}{Kd} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_m} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{из1}} \cdot \ln \frac{D_{из1}}{D} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{из2}} \cdot \ln \frac{D_{из2}}{D_{из1}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot \lambda_{из2}} \quad (2)$$

Тут K – коефіцієнт теплопередачі від теплоносія в навколишнє середовище;
 d та D , – внутрішній і зовнішній діаметри трубопроводу;

$D_{из1}$, $D_{из2}$ – зовнішні діаметри першого та другого шару ізоляційного покриття;

λ_m , $\lambda_{из1}$, $\lambda_{из2}$ – коефіцієнти теплопровідності металу та шарів ізоляційного покриття;

l – відстань між ділянками, ТЕЦ, ЦТП та ІТП;

Q – об'ємна продуктивність теплопроводу;

ρ и C – щільність і теплоємність теплоносія при середній температурі потоку;

t_0 – температура навколишнього середовища – ґрунту на глибині закладення трубопроводу в непорушеному тепловому стані (замість t_0 ураховується температура повітря t_b , якщо ділянка трубопроводу надземна);

α_1 та α_2 – внутрішній і зовнішній коефіцієнти тепловіддачі.

Передбачається, що транспорт теплоти в робочому діапазоні температур може відбуватися як при турбулентному, так і при ламінарному режимі, тому величиною $1/\alpha_1 d$ зневажати не можна.

Внутрішній коефіцієнт тепловіддачі α_1 для кожної ділянки визначається по формулах М.А. Михеєва [5]:

$$Nu = 0,17 Re_f^{0,41} \cdot Pr_f^{0,41} \cdot Gr_f^{0,1} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,33} \quad \text{для } Re_f \leq 2000 \quad (3)$$

$$Nu = 0,17 Re_f^{0,41} \cdot Pr_f^{0,41} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,33} \quad \text{для } Re_f \geq 10000 \quad (4)$$

залежно від чисел Нуссельта Nu , Рейнольдса Re , Прандтля Pr і Грасгофа Gr (індекс "f" означає, що число визначене при температурі потоку, "w" - при температурі стінки):

$$Nu = \frac{\alpha_1 d}{\lambda}; \quad Re = \frac{4Q}{\pi D v}; \quad Pr = \frac{v C \rho}{\lambda}; \quad Gr = \frac{d^3 g \beta (t_f - t_w)}{v^2} \quad (5)$$

де: v та λ – кінематична в'язкість та теплоємність рідини;

β – коефіцієнт температурного розширення.

В області $2000 < Re_f < 10^4$ внутрішній коефіцієнт тепловіддачі α_1 визначається інтерполяцією.

Слід зазначити, що коефіцієнт тепловіддачі α_1 можна визначати по іншим залежностям, наприклад, по залежності Джилла і Рассела [3], отриманої на промислових трубопроводах, що не міняє структури розрахунків.

Розрахунок параметрів теплообміну по формулах (2 – 5) виконується методом послідовних наближень із перевіркою температури стінки труби t_{wj} по рівнянню теплового балансу

$$\alpha_{1j} (t_{fj} - t_{wj}) = K_j (t_{fj} - t_{0j}) \quad (6)$$

де температура потоку t_{fj} визначається як середньоінтегральна величина на ділянці, що розглядається:

$$t_{fj} = t_{0j} + \frac{t_{Hj} - t_{Kj}}{\ln \frac{t_{Hj} - t_{0j}}{t_{Kj} - t_{0j}}} \quad (7)$$

При надземній прокладці ділянки в рівняннях (6) і (7) замість t_0 враховується температура повітря t_b .

Залежність теплофізичних властивостей теплоносія: щільності ρ , теплоємності C та теплопровідності λ від температури враховується по формулі (8) і формулам Крего (9 - 10):

$$\rho = \rho_{20} (1 + \beta_p (t - 20)) \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{0,101}{\rho_{15}} (1 - 0,00054 \cdot t) \cdot 1163 \quad \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad (9)$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}}} (53357 + 107,2 \cdot t) \quad \text{Дж/(кг} \cdot \text{°C)} \quad (10)$$

де $\rho_{15} = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_p(15 - 20)}$. На підставі (5 – 7) $\alpha_1 = \text{Nu} \frac{\lambda}{d}$.

При підземній прокладці трубопроводу зовнішній коефіцієнт тепловіддачі α_2 , визначається по формулі П.И. Тугунова - В.С. Яблонського [4]:

$$\alpha_2 = \frac{2\lambda_{\text{гр}}}{D_{\text{вн}} \cdot \ln \left(\frac{4H'}{D_{\text{вн}}} + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\lambda_{\text{в}} H'} \right)} \quad (11)$$

де $H' = H_0 + \delta_{\text{сп}} (\lambda_{\text{сп}} / \lambda_{\text{сп}})$

H_0 – глибина закладення трубопроводу до осі;

$\lambda_{\text{гр}}$ – розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності ґрунту [5];

$\delta_{\text{сп}}, \lambda_{\text{сп}}$ – товщина та коефіцієнт теплопровідності снігу;

$\lambda_{\text{в}}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря.

Зовнішній коефіцієнт тепловіддачі α_2 , для надземної ділянки трубопроводу визначається залежно від швидкості вітру $V_{\text{в}}$, по формулі:

$$\alpha_2 = (12 + 7\sqrt{V_{\text{в}}}) \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad (12)$$

Втрати напору на тертя h_{vj} , з урахуванням в'язкісно - температурної залежності по Рейнольдсу - Філонову, осьового градієнта температур по В.Г. Шухову, радіального по М.А. Михеєву, на кожній ділянці визначають по формулі:

$$h_{\text{vj}} = \beta_j \frac{Q_j^{1-m_j} \cdot \frac{m_j}{d_j^{1-m_j}} \cdot e^{-\alpha_j m_j (t_{\text{в}} - t_{\text{г}})}}{a_{\text{vj}}} \left\{ \frac{\text{Ei} \left[-u_j \left(m_j - \frac{1}{3} \cdot \frac{K_j}{\alpha_{\text{vj}}} \right) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{г}}) \right]}{\text{Ei} \left[-u_j \left(m_j - \frac{1}{3} \cdot \frac{K_j}{\alpha_{\text{vj}}} \right) \cdot (t_{\text{ж}} - t_{\text{г}}) \right]} \right\} \quad (13)$$

де $a_{\text{vj}} = (K_j \lambda d_j) / (Q_j C_j)$;

β, m – коефіцієнти у формулі Лейбензона;

u – крутизна вискограми;

$\text{Ei}[-x]$ – інтегральна показова функція від від'ємного аргументу.

Необхідний тиск у початковому перетині трубопроводу, при різниці геометричних оцінок кінцевого й початкового перетину трубопроводу $\Delta z = z_2 - z_1$, залишковому тиску P_2 наприкінці трубопроводу, з урахуванням втрат на місцеві опори в розмірі 5% від лінійних втрат, дорівнює:

$$H_{\text{нп}} = \Delta z + \frac{P_2}{\rho g} + (1,02 \dots 1,05) \cdot \sum_{j=1}^n h_{\text{vj}} \quad (14)$$

Висновки

1. Розроблена математична модель дозволяє проводити числове дослідження залежності оптимальної температури мережної води від величини технологічних теплових втрат при різних температурах зовнішнього повітря, та побудувати графіки оптимальної температури мережної води для різних температур зовнішнього повітря.

2. За допомогою моделі можливо здійснити коректування температури прямої мережної води залежно від теплового навантаження, часу доби, температури зовнішнього повітря та величини технологічних втрат, тобто створення динамічних температурних графіків.

Summary

The generalized mathematical model of the systems of heat is formed, that allows to conduct research of dependence of optimum temperature of water network, the size of technological thermal losses at the different temperatures of external air, and to build the graphic of optimum temperature of water network.

Литература

1. Мисак Й. Пускові режими парових турбін енергоблоків ТЕС / Й. Мисак, В. Дворовенко, І. Галянчук. – Львів: НВФ «Українські технології», 2008. – 176 с.
2. Монахов Г.В. Моделирование управления режимами тепловых сетей / Монахов Г.В., Войтинская Ю.А. – М.: Энергоатомиздат. – 1995. – 224 с.
3. Математическое моделирование /Под ред. Дж. Эндрюса, Р. Мак – Лоуна. – М: Мир, 1979. – 278 с.
4. Математическое моделирование при проектировании магистральных трубопроводов / [Бакаев А.А., Олеярш Г.Б., Иванина Д.С. и др.]. – К.: Наук. думка, 1990. – 168 с.
5. Математическое моделирование источников энергоснабжения промышленных предприятий / [Зайцев А.И., Митновицкая Е.А., Левин Л.А. и др.].– М.: Энергоатомиздат, 1991. – 152с.