

УДК 621.311.25

В. В. Студинський; О. М. Головченко, к. т. н., доц.; І. В. Штуй**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ
СХЕМИ МІНІ-ТЕЦ НА ЛУШПИННІ**

Розглянуто метод математичного моделювання, який дозволяє охарактеризувати широке коло перспективних та модернізацію існуючих теплових схем котелень та ТЕЦ. На основі цього методу створено систему комп'ютерного проектування теплових схем.

Ключові слова: промислово-опалювальна котельня, теплоенергетична установка, олієжиркомбінат, математичне моделювання, логіко-числове моделювання, граф, дуга, інформаційна мережа, мнемосхема.

Актуальність

Задача підвищення ефективності використання газу призводить до переходу від типових теплових схем котелень до індивідуальних схем, ускладнених турбінами, двигунами внутрішнього згоряння, тепловими насосами, теплоутилізаторами тощо. Перелік палив котелень розширюється паливами рослинного походження, біогазами, відходами переробної промисловості. Системний характер означеної задачі викликає необхідність її розгляду в комплексі з екологічними, біологічними, медичними, економічними і технічними проблемами.

Особливістю проектних розрахунків котелень є невизначеність зміни на протязі майбутнього терміну експлуатації частини початкових даних, зокрема, питомих вартісних показників. Збільшення кількості елементів схем та можливих комбінацій їх з'єднань між собою, розширення діапазонів змін початкових даних, фактори системності та невизначеності значно ускладнюють вибір остаточного варіанта теплової схеми котельні.

Актуальність результатів цієї роботи полягає в можливості їх використання для синтезу та аналізу теплових схем промислових котелень при їх перетворенні в міні-ТЕЦ.

Постановка завдання

Агрегати котельні й зв'язки між ними зображуються на теплових схемах. Задачами чисельних досліджень, проектування та експлуатації теплових схем котелень наступні:

- синтез теплової схеми з оптимальними структурами та параметрами;
- дослідження оптимізованої схеми на режимах, відмінних від базових;
- техніко-економічні обґрунтування пропозицій з підвищення ефективності котелень, що знаходяться в експлуатації.

При розв'язанні завдань першого типу виконується комплексна оптимізація елементів теплової схеми, в тому числі: вибір котлоагрегатів, теплових двигунів, насосів, водопідготовної установки, теплообмінників, баків, трубопроводів, теплових ізоляцій та інше.

Режимні дослідження теплових схем необхідні для розрахунків на міцність елементів устаткування котельні, розробки системи захисту, автоматики, сигналізації і для складання інструкцій з експлуатації її агрегатів.

Математично задача синтезу та аналізу теплової схеми котельні може бути записана наступним чином. Знайти значення цільової функції $Z_{\Sigma}(X, Y, \Lambda, G)$ при обмеженнях у вигляді рівностей та нерівностей:

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

$$X^{\min} \leq X \leq X^{\max}, \quad Y^{\min} \leq Y \leq Y^{\max},$$

$$X \in \{X_n, X_o\}, \quad \Lambda \in \{\Lambda_o, \Lambda_u\},$$

$$G_j \in \Gamma,$$

де F – система рівнянь опису процесів і конструктивно-економічних оцінок устаткування теплової схеми структури G_j з кінцевої множини структур Γ ; X_n, X_o – сукупності відповідно безперервних і дискретних незалежних змінних; Y – сукупність залежних змінних; Λ – сукупність зовнішніх детермінованих параметрів Λ_o і ймовірно змінних в часі параметрів Λ_u .

Синтез оптимальної теплової схеми зводиться до побудови управління по X, Y, G_j з метою оптимізації функціонала Z_Σ . Режимні дослідження схеми являють собою знаходження значень Y при заданих X, G_j .

Сучасний рівень чисельних досліджень теплоенергетичних установок визначає наступні вимоги до методу розв'язку завдань досліджень котельних установок:

- можливість врахування системних факторів;
- можливість комплексної оптимізації при проектуванні теплових схем і устаткування котелень;
- можливість врахування невизначеності початкових даних.

Котельня є складовою частиною системи теплоенергопостачання одного або декількох підприємств. Тому у міру деталізації рівні розробки теплової схеми котельні можуть бути наступними:

- вибір конфігурації системи теплоенергопостачання підприємств району;
- теплова схема котельні;
- агрегати котельні.

Аналіз наявних методів

Розв'язку завдань синтезу та аналізу теплових схем міні-ТЕЦ, створених з промислово-опалювальних котелень, присвячені ряд досліджень. Наприклад, у роботі [1] представлена трьохрівнева структура синтезу оптимальної теплової схеми: графове моделювання та аналіз базової теплової схеми, синтез можливих варіантів, визначення найбільш оптимальної схеми.

Автор диференціює поставлене завдання на декілька етапів: елементи конструкції – апарат – установка – агрегат – технологічна система – котельня. Аналогічним до графа схеми є інформаційна блок-схема теплової схеми котельні. Кожен блок є аналогом вузла графа, а потоки – дуги графа.

Граф також зображується у вигляді матеріально-потокowego графа, теплового потокового графа та енергетичного графа. Синтез теплової схеми проводиться графоаналітичним методом. Визначається кількість вхідних та вихідних потоків з кожного вузла графа. Кількість і вигляд рівнянь представляє математичну модель теплової схеми.

Критеріями оцінки ефективності теплової схеми є техніко-економічні показники.

В роботах [2, 3] виконується оптимізація теплової схеми та її модернізація на основі визначення техніко-економічних показників декількох можливих варіантів.

Розглянуті методи є достатньо ефективними інструментами синтезу й аналізу промислово-опалювальних котелень. Проте вони не відповідають сформульованим вище вимогам та недостатньо враховують специфіку задач перетворення котельні в міні-ТЕЦ.

Обґрунтування результатів дослідження

У цій роботі завдання синтезу й аналізу теплових схем котелень вирішується за методом, який є розвитком методу математичного моделювання теплових схем теплоенергетичних

установок [4] у напрямку моделювання промислових котельень та міні-ТЕЦ.

Основними елементами методу є наступні методики:

передання конструктивно-технологічних структур котельень;

логіко-числове моделювання фізичних процесів у устаткуванні котельень;

адаптації математичних моделей устаткування до методик його розрахунків в конструкторських бюро;

управління програмною реалізацією математичної моделі котельень.

Для передачі структури промислової котельні використані графові уявлення. Елементи тепломеханічного устаткування відображуються вузлами графа, а зв'язки між ними – дугами графа. Орієнтація дуг графа збігається з направленням руху енергоносіїв. Конструктивно-технологічна відповідність устаткування котельні графу досягається присвоєнням кодів його вузлам. Закодований (технологічний) граф має вигляд:

$$G^T = (K_B^i, N_B^i) \Leftrightarrow U_{k=1}^P N_o^j, \quad (2)$$

де K_B^i , N_B^i – конструктивно-технологічні коди вузла i та дуги j ; $U_{k=1}^P$ – множина дуг, інцидентних вузлу N_B^i ; N_o^j – номер дуги j . Індокси i та j визначають положення N_B^i та N_o^j у списках номерів вузлів та дуг. Граф інтерпретується як інформаційна мережа (І-мережа) потоками якої є параметри енергоносіїв $Y_j=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ у технологічних зв'язках (дуга графа), а параметрами джерел – характеристики $X_j=(x_1, x_2, \dots, x_m)$ елементів устаткування (вузлів графа). При цьому коди дуг та вузлів визначають внутрішні структури інформаційних груп U_1, U_2, \dots, U_n та X_1, X_2, \dots, X_m , а їх номери – положення цих груп серед інших. На Т-графі визначена система DF логічних (декодуєчих) функцій, які отримують ті чи інші предметні характеристики (кодів, термів) елементів графа. За допомогою логічних функцій будуються висловлювальні функції (предикати) $I_i(G^T, DF)$, які приймають значення 0 або 1 в залежності від виконання певних умов. Наприклад, належить або не належить код цього вузла підмножин i кодів вузлів котлоагрегату, належить чи не належить ця дуга підмножин дуг, інцидентних деякому вузлу та інше.

Фізичні процеси в промисловій котельні описуються системою рівнянь збереження, а саме: маси, кількості руху, енергії; рівнянь приросту ентропії та стану робочих тіл та теплоносіїв. Основна особливість цієї системи полягає в тому, що кількість та вид рівнянь кожного типу залежить від технологічної установки (числа апаратів, їх призначення, засобу з'єднання, конструктивного виконання), тобто логічної інформації. Ця особливість зумовлює доцільність представлення математичної моделі промислової котельні у вигляді сукупності логіко-числових операторів, які відображають трансформацію форм рівнянь названих типів (числових функцій) у залежності від технологічних кодів вузлів та дуг графа (логічних змінних) і автоматично формуючих на графі необхідну систему рівнянь. Математична модель котельні має вигляд:

$$\Delta Z_r(G^T, I, DF) / \Delta_r LT(G^T, I, DF) = 0, r = 1, 2, \dots, s, \quad (3)$$

де Δ – знак логіко-числового оператора; ΔZ_r – оператор якості варіанта котельні; LT – ідентифікатор логіко-числового оператора; C_i^{\min} , C_i^{\max} – графічні значення параметрів інформаційної мережі I; G^T – технологічний граф схеми котельні.

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

$$\Delta_r LT(G^T, I, DF) = U_{r=1}^s \Delta I_t(G^T, I, DF), \quad (4)$$

де I_t – логіко-числовий модуль r -го рівня. Модуль записується як добуток висловлювальної та числової функції:

$$\Delta I_t(G^T, I, DF) = I_i(K_B, K_d, DF) * t_i(x, y); \quad x, y \in I, \quad (5)$$

де I – висловлювальна функція; t – числова функція (рівняння процесу); x, y – залежні та

незалежні змінні.

Сумісність математичної моделі з методиками розрахунків її устаткування в конструкторських бюро досягається ідентифікацією моделі устаткування за експериментальними (розрахунковими або фактичними) даними.

Робота моделі (2) полягає в перебиранні вузлів графа, виділенні кодів вузлів та дуг декодуючими функціями ДФ та зверненні до відповідних кодів вузлів трансформацій рівнянь системи. Система розв'язується методом ітерацій.

Математична модель реалізована системою комп'ютерного проектування теплових схем котелень. Ця система містить математичні описи промислового котла, протитискової та конденсаційної турбін, турбоприводу живильного насосу, циркуляційних та живильних насосів, деаератора, охолодника випару деаератору, водо-водяних та паро-водяних теплообмінників, конденсатора турбоустановки, електрогенератора, газоохолодника, розширника безперервної продувки, ежектора, точки змішування, теплових споживачів та джерел енергії. Турбіна представлена наступним обладнанням: клапанами, регулюючим східцем, проміжним східцем, останнім східцем, вихлопом, точками відбору пари.

Блок-схема системи комп'ютерного проектування теплових схем котельних установок наведена на рис. 1.

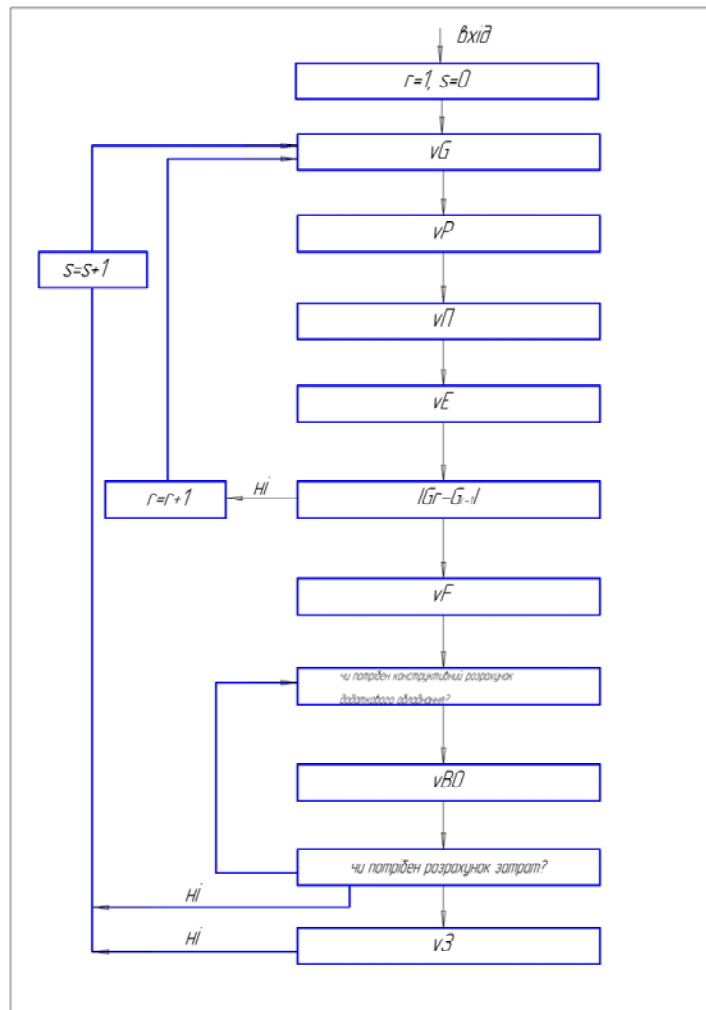


Рис. 1. Блок-схема системи комп'ютерного проектування теплових схем

В цій блок-схемі логіко-числові оператори ∇F , ∇P , $\nabla \eta$, $\nabla \Pi$, ∇E визначають відповідно техніко-економічні показники, витрати теплоносіїв, тиски в елементах теплової схеми, ККД турбіни, ентальпії та потужності двигунів.

Комплексну оптимізацію теплових схем та устаткування котелень пропонується виконувати наступним чином: на перших етапах дослідження системи теплоенергопостачання промислових підприємств є доцільним використання методу системного аналізу [5]. За цим методом функція якості системи F у нормованому вигляді має вид:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i F_i(x_i), \quad (6)$$

де n – загальна кількість параметрів; $F_i(x_i) (i=1 \dots n)$ – нормовані одномірні функції корисності; k_i – вагові коефіцієнти, які характеризують ціннісні співвідношення між окремими критеріями. Обмеженням методу є умови незалежності пари критеріїв (X_i, X_j) ($i=1 \dots n-1, j=i+1 \dots n$) на перевагу від інших критеріїв. З урахуванням цього функція $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ обчислюється за такою послідовністю:

1. Призначення критеріїв x_i і їхнього найгіршого та найкращого рівнів;
2. Визначення незалежності критеріїв x_i , за перевагою;
3. Визначення одномірних функцій $F_i(x_i)$;
4. Визначення вагових коефіцієнтів k_i ;
5. Розрахунок $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Перевірка незалежності зводиться до знаходження таких випадків, коли структура переваг експерта порушує припущення про незалежність. Якщо таких випадків немає, умови незалежності виконані. Якщо такі випадки є, тоді необхідно змінити критерій.

Визначення одномірних функцій $F_i(x_i)$, яке виконується експертом, здійснюється графічно, рис. 2. Для кожного з параметрів x_i задаються його найгірше та найкраще значення. Значенню $x_i = x_i^{\text{найгірший}}$ відповідає значення одномірної функції, яка дорівнює нулю, а значенню $x_i = x_i^{\text{найкращий}}$ відповідає значення рівне 1, тобто:

$$F_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i = x_i^{\text{найгірше}} \\ 1, & x_i = x_i^{\text{найкраще}} \end{cases}. \quad (7)$$

Третя точка на графіку визначається за допомогою випадкового вибору. Необхідно знайти такий детермінований еквівалент, при якому його корисність $F_i(x_i^{\text{детерм}})$ дорівнює очікуваній:

$$F_i(x_i^{\text{детерм.}}) = 0,5F_i(x_i^{\text{найгірше}}) + 0,5F_i(x_i^{\text{найкраще}}) = 0,5. \quad (8)$$

Графіки апроксимуються параболічними функціями.

Вагові коефіцієнти k_i оцінюються в два етапи: спочатку вони ранжируються за важливістю, а потім визначаються чисельні значення вагових коефіцієнтів. Це виконується шляхом встановлення ціннісних співвідношень між критеріями. Ці співвідношення визначають можливу зміну одного критерію за рахунок іншого. Здійснюється така оцінка коефіцієнтів, як і при побудові одномірних функцій $F_i(x_i)$, при безпосередній участі експерта.

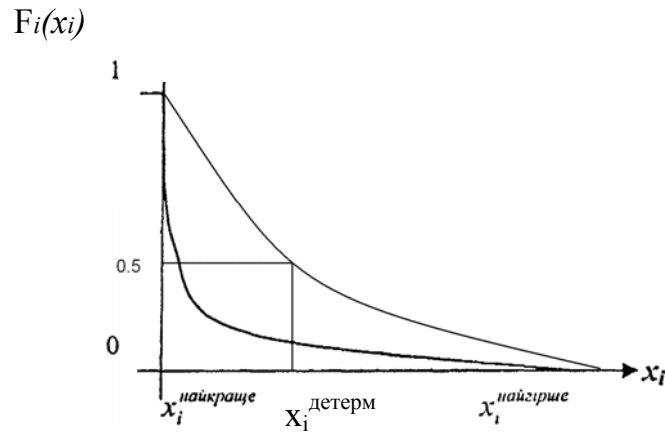


Рис. 2. Побудова одновимірних функцій корисності

Тепер, маючи значення коефіцієнтів k_i та знаючи вигляд одновимірних функцій $F_i(x_i)$, можемо обчислювати і значення множинної функції $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

На другому етапі виконується синтез схеми котельні, який полягає в знаходженні мінімуму Z_z в результаті оптимізації її структур і параметрів. Структурою є схема котельні з визначеною кількістю елементів, технологічними призначеннями цих елементів та способом поєднань елементів між собою. Оптимізація структур відбувається шляхом вибору зі списку можливих структур Г. Оптимізація параметрів Х з урахуванням невизначеності вихідної інформації Λ_{ii} виконується за такою послідовністю. Параметри устаткування котельних установок можна поділити на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх (схемних) відносяться параметри енергоносіїв на входах і виходах елементу устаткування. Внутрішніми є конструкторські параметри цього елемента.

При оптимізації схемних параметрів невизначеність зменшується таким чином. Експертними оцінками визначається інтервал змін вихідних питомих вартісних та інших техніко-економічних показників, формуються альтернативні набори цих показників (оптимістичний, середній, песимістичний) та виконується оптимізація котельних установок для кожного набору показників. Далі досліджується сталість знайдених оптимальних параметрів до змін вихідної інформації та з інженерних міркувань вибирається остаточний варіант параметрів схеми котельні.

Роботоспроможність запропонованої методики комплексної оптимізації котельні перевірялась на задачах вибору конфігурації системи теплоенергопостачання підприємств тепловою потужністю 30 МВт та модернізації котельні олієжиркомбінату.

У першому випадку визначалась доцільна комбінація можливих джерел теплової та електричної енергії. Можливі джерела теплової енергії прийняті такими: ВК – водогрійні котли, ПК – парові котли, ТНУ – теплонасосні установки. Можливі джерела електричної енергії прийняті такими: ПТУ – паротурбінні установки, ГТУ – газотурбінні установки, ГПД – газопоршневі двигуни.

Прийняті критерії варіантів джерел енергопостачання наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Критерії варіантів джерел енергопостачання

Критерії	Кращий рівень	Гірший рівень
X1 – Імовірність нещасних випадків, 10^{-5}	50	80
X2 – Імовірність пожеж та вибухів, 10^{-7}	200	600
X3 – Залежність від зовнішніх джерел, %	0	100
X4 – Затрати на паливо, млн. грн/рік	20,53	26,45
X5 – Затрати на електроенергію від зовнішніх споживачів, млн. грн/рік	0	4,788
X6 – Капіталовкладення, млн. грн.	3,070	7,715
X7 – Викиди CO ₂ SO ₂ , NO ₂ , тонн / рік	358,8	500
X8 – Зарплата, млн. грн/рік	0,4	0,6
X9 – Імовірність відмов, балів	0	100
X10 – Рівень негативного впливу на персонал, балів	0	100
X11 – Затрати на воду, млн. грн/рік	0,25	0,5
X12 – Затрати на ремонт, млн. грн/рік	0,6	1
X13 – Затрати на будівництво, млн. грн	40	50
X14 – Виручка від продажу електроенергії, млн. грн/рік	1,25	0

Розглядалися дев'ять варіантів:

Варіант 1. Базовий; варіант 2. ПК, ВК та ПТУ; варіант 3. ПК та ГТУ; варіант 4. ПК та ПТУ; варіант 5. ПК, ВК та ГПД; варіант 6. ПК, ВК та ГТУ; варіант 7. ПК, ТНУ, ВК, ГТУ та ПТУ; варіант 8. ПК, ВК та ТНУ.

В якості базового прийнятий варіант з паровим котлом. Найбільш важливі результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків системи теплоенергопостачання

Критерії	ПК		ПК+ВК+ПТ		ПК+ГПД		ПК+ПТУ	
Виручка від продажу електроенергії, млн. грн/рік	0	0	1,25	$5,01 \cdot 10^{-1}$	0	0	1,25	$5,01 \cdot 10^{-1}$
Затрати на електроенергію від зовнішніх джерел, млн. грн/рік	0,45	$2,2 \cdot 10^{-1}$	0	$2,76 \cdot 10^{-1}$	0	$2,76 \cdot 10^{-1}$	0	$2,76 \cdot 10^{-1}$
Затрати на паливо, млн. грн/рік	25,6	$127 \cdot 10^{-2}$	21,43	$9,26 \cdot 10^{-2}$	25,85	$8,95 \cdot 10^{-3}$	25,6	$1,26 \cdot 10^{-2}$
Капіталовкладення, млн.грн	3,76	$4,75 \cdot 10^{-2}$	4	$4,24 \cdot 10^{-2}$	3,83	$4,6 \cdot 10^{-2}$	4,76	$2,8 \cdot 10^{-2}$
Затрати на будівництво, млн.грн.	40	$1,1 \cdot 10^{-3}$	41,5	$7,766 \cdot 10^{-3}$	40,2	$1,05 \cdot 10^{-2}$	40,2	$1,05 \cdot 10^{-2}$
Імовірність відмов, %	0	$8,56 \cdot 10^{-3}$	28	$4,17 \cdot 10^{-3}$	25	$4,48 \cdot 10^{-3}$	20	$5,29 \cdot 10^{-3}$
Затрати на ремонт, млн. грн/рік	0,6	$4,9 \cdot 10^{-3}$	0,75	$2,055 \cdot 10^{-3}$	0,7	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,65	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Викиди CO ₂ SO ₂ , NO ₂ , т/рік	493	$6,37 \cdot 10^{-5}$	363,7	$2,949 \cdot 10^{-3}$	500	0	493	$6,37 \cdot 10^{-5}$
Залежність від зовнішніх джерел ел.енергії, %	100	0	0	$1,18 \cdot 10^{-3}$	0	$1,18 \cdot 10^{-3}$	0	$1,18 \cdot 10^{-3}$
Затрати на воду, млн. грн/рік	0,25	$1,04 \cdot 10^{-3}$	0,25	$1,045 \cdot 10^{-3}$	0,25	$1,04 \cdot 10^{-3}$	0,25	$1,044 \cdot 10^{-3}$
Зарплата, млн. грн/рік	0,4	$4,15 \cdot 10^{-4}$	0,435	$3,194 \cdot 10^{-4}$	0,43	$3,32 \cdot 10^{-4}$	0,44	$3,065 \cdot 10^{-4}$
Імовірність пожеж та вибухів, 10^{-7} , %	200	$2,47 \cdot 10^{-4}$	350	$1,297 \cdot 10^{-4}$	280	$1,81 \cdot 10^{-4}$	320	$1,51 \cdot 10^{-4}$
Рівень негативного впливу на персонал, %	0	$2,27 \cdot 10^{-4}$	40	$8,77 \cdot 10^{-5}$	60	$5,85 \cdot 10^{-5}$	35	$9,5 \cdot 10^{-5}$
Імовірність нещасних випадків, 10^{-5} , %	50	$7,98 \cdot 10^{-5}$	63	$3,22 \cdot 10^{-5}$	55	$5,92 \cdot 10^{-5}$	57	$5,17 \cdot 10^{-5}$
Функція «Корисності»	0,3065		0,932		0,352		0,841	

Кращими варіантами є пароводогрійна котельня та парова турбіна з сумарною функцією корисності 0,93, парова котельня з аналогічною турбіною зі сумарною функцією корисності 0,84 та комбінація пароводогрійної котельні з теплонасосною установкою.

Останній варіант є досить складний в реалізації, хоча на чверть знижує витрату палива відносно існуючого варіанта.

Найвищий показник має варіант пароводогрійні котли та парова турбіна, оскільки має високі значення частинних критеріїв виручки від продажу електроенергії, затрат на паливо та загальних капіталовкладень.

Варіант з паровими котлами та паротурбінною установкою має трохи більші затрати на паливо. Проте він має менші затрати на будівництво, на ремонт, а також меншу імовірність нещасних випадків. Тому остаточним доцільно обрати варіант з паровими котлами та паровою турбіною. Далі визначалась оптимальна структура та параметри теплової схеми котельні з парогенератором зі спаленням лушпиння та газу.

У вихідній схемі встановлені два котла Е-16-39/380 та КЕ-10-14/25, які споживають 91 тону лушпиння за добу. Через розширення підприємства передбачається збільшити кількість споживаного лушпиння до 250 тонн на добу. Для утилізації цього лушпиння планується встановлення двох котлів за проектами ООО СПКТБ «Енергомашпроект» Е-16-39/360 та Е-25-39/360.

Для вибору устаткування котельні, що модернізується, доцільно розглянути варіанти теплової схеми без турбін, з протитисковою турбіною та з конденсаційною турбіною. За критеріями якості варіанта схеми можуть бути прийняті сумарні приведені затрати на її обладнання Z_2 . Частина початкових даних для визначення Z_2 є недетермінованою через невизначеність їх зміни протягом терміну експлуатації. З урахуванням цього сформовані альтернативні набори вхідних даних, таблиця 3.

Таблиця 3

Альтернативні набори вхідних даних

Параметри	Альтернативні варіанти		
	Песимістичний	Середній	Оптимістичний
Вартість 1 тони палива, грн	50	5	3
Вартість 1 кВт електроенергії, коп	100	45	35
Вартість 1 Гкал теплової енергії, грн	400	300	200

Результати розрахунків варіантів теплової схеми без турбіни та з турбінами для середньо альтернативного набору вхідних даних наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків теплової схеми котельні

Варіанти схеми	Потужність турбіни N_e , кВт	Теплова потужність Q , Гкал	Різниця сумарних приведених затрат млн. грн / рік
Базовий	0	27,45	0
З турбіною типу Р	2,6	26,405	- 5,303
З турбіною типу ПТ	6,8	15,26	- 7,898

Відповідно до розрахунків найкращі показники має тепла схема з турбіною ПТ, граф якості, наведена на рис. 3.

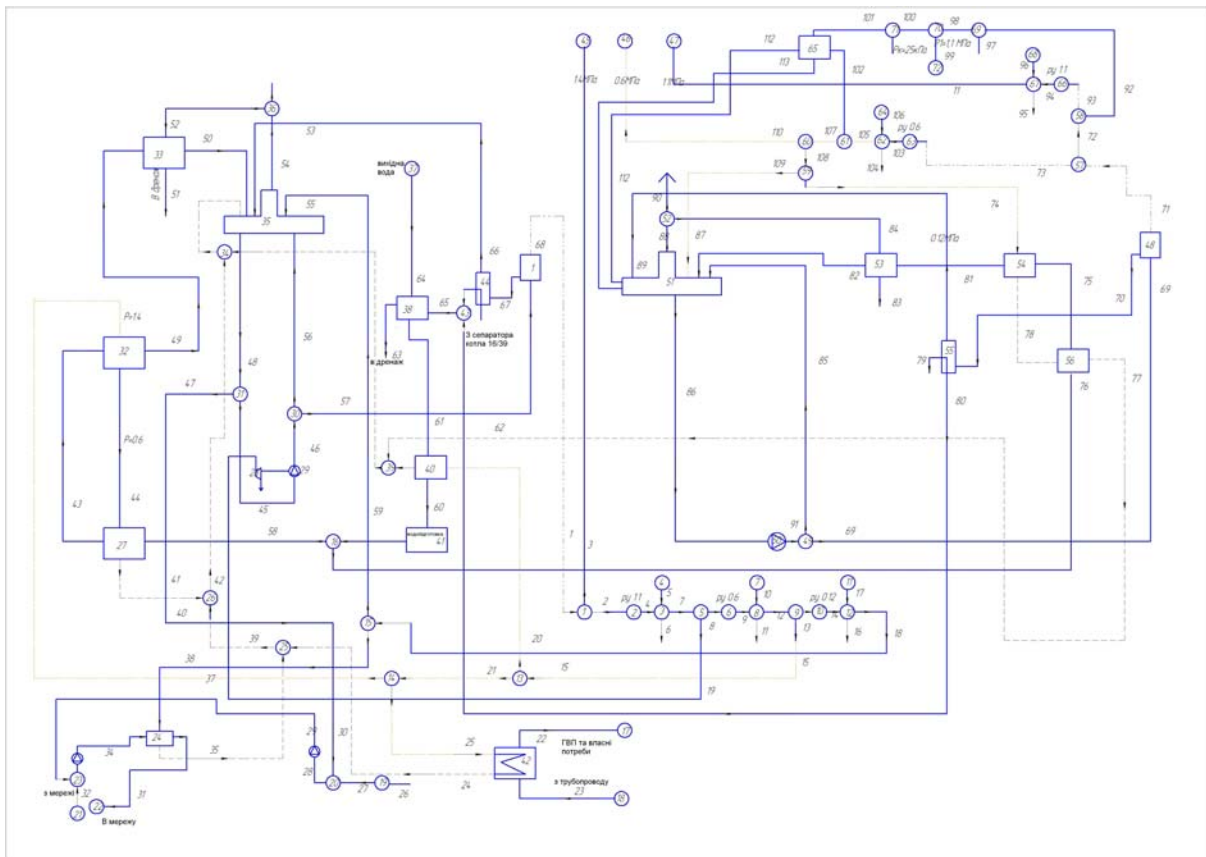


Рис. 3. Граф теплової схеми промислово-опалювальної котельні.

У турбіні цієї схеми передбачається конденсаційна установка, параметри якої доцільно оптимізувати. Параметри оптимізації, прийняті наступними: $n_{тр}$ – кількість труб, $G_{ох}$ – витрата охолодної води, $L_{тр}$ – довжина труб та $d_{тр}$ – зовнішній діаметр труби. Характеристики початкового та оптимального варіантів наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати оптимізації на 50% режимі

Варіант	$n_{тр}$, шт	$G_{ох}$, кг/с	$L_{тр}$, м	$d_{тр}$, мм	ΔZ_{Σ} , тис. грн
Початковий	950	1400	4	14	0
Оптимальний	1220	3400	4,44	16	159,4

Як видно з результатів оптимізації, є доцільними 1220 кг/с проектної витрати охолодної води та 3400 числа труб. Розрахунки виконувались при середньому альтернативному наборі початкових даних. Розрахунки при інших наборах даних дали практично ті ж самі результати, тобто призначені параметри оптимізації є стійкими до змін початкової інформації.

Висновки

1. Відомий метод математичного моделювання теплоенергетичних установок удосконалено в напрямку математичного моделювання промислово-опалювальних котельні і міні-ТЕЦ.
2. Розроблена система комп'ютерного проектування теплових схем промислової котельні і міні-ТЕЦ, яка дозволяє виконувати їхню структурну та числову оптимізацію.
3. Виконані оптимізаційні розрахунки промислово-опалювальної котельні, які

показали доцільність встановлення турбіни типа ПТ із реконструйованою конденсаційною установкою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кунеевский В. В. Анализ и синтез эффективных технологических схем котельных установок и усовершенствование их основных узлов: дис. на соиск. наук. степени к. т. н. / В. В. Кунеевский. – Казань, 2006. – 188 с.
2. Басс М. С. Повышение экономичности работы ТЭЦ с поперечными связями на основе оптимизации режимов работы и тепловой схемы: дис. на соиск. наук. степени к. т. н. / М.С. Басс. – Улан-Удэ, 2006. – 118 с.
3. Сигидов Я. Ю. Оптимизация структуры и параметров тепловых схем конденсационных парогазовых установок с котлами-утилизаторами трех давлений: дис. на соиск. наук. степени к. т. н. / Я. Ю. Сигидов. – Москва, – 2006. – 198 с.
4. Головченко. А. М. Игровое проектирование энергетического оборудования / А. М. Головченко, Д. Б. Налбалдян. – К. : УМК ВО, 1988. – 236 с.
5. Кини Р. Размещение энергетических объектов / Р. Кини. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 320 с.

Студинський Владислав Володимирович – аспірант кафедри теплоенергетики, тел.: (0432) 598-339.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, тел.: (0432) 598-339.

Штуй Ігор Володимирович – інженер Вінницького олієжиркомбінату, тел. (8067) 430-90-31.

Вінницький національний технічний університет.