

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ГАЛЯНЧУК ІГОР РОМАНОВИЧ



УДК 621.184.4/.5

**МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕКТИВНИХ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНИХ
СИСТЕМ ПАРОВИХ КОТЛІВ ТЕС**

Спеціальність 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Чабан Орест Йосифович

Національний університет “Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України, (м. Львів)

кандидат технічних наук, доцент

Кравець Тарас Юрійович

Національний університет “Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України, (м. Львів),
доцент кафедри теплоенергетики, теплових та атомних
електричних станцій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент

Волощук Володимир Анатолійович

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Міністерства
освіти і науки України, (м. Київ),
професор кафедри автоматизації теплоенергетичних
процесів, в.о. завідувача кафедри автоматизації
теплоенергетичних процесів

кандидат технічних наук,

Бондзик Дмитро Леонтійович

Інститут вугільних енерготехнологій,
Національна академія наук України, (м. Київ),
заступник завідувача відділу енерготехнологічного
використання твердого палива

Захист відбудеться “18” грудня 2020 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.04 у Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України за адресою: 79000, м. Львів, вул. Устияновича, 5, ауд 51.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79000, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий “13” листопада 2020 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 35.052.04, к.т.н., доцент



Ю.З. Вашкурак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Важливим стратегічним напрямком розвитку об'єктів теплоенергетики України є максимально можливе енергозбереження під час виробництва теплової та електричної енергії. Це зумовлено підвищенням цін на енергоносії, що посилює необхідність підвищення ефективності використання енергії палива, зниження металоемності теплопередавальних систем та елементів, зменшення втрат металу внаслідок корозії.

Теплообмінники конвективних поверхонь нагріву котельних установок є тією ланкою, що визначає ступінь утилізації тепла продуктів згоряння, а тому їх удосконалення дає значний внесок у вирішення вказаних проблем. Конвективні теплообмінники парового котла сприймають близько 30-40 % теплоти, що передається продуктами згоряння палива, а на їх виготовлення йде до 50-60 % всього металу поверхонь нагріву котельної установки.

Управління тепловими процесами, які містять сукупність конвективних поверхонь нагріву, вимагає знань статичних і динамічних характеристик усіх ланок парового котла, як об'єкта регулювання. Це зумовлено тим, що теплообмінний апарат або сукупність теплообмінних апаратів є складовою частиною системи утилізації тепла продуктів згоряння у парових котлах ТЕС. Тому визначення оптимальних характеристик теплообмінних апаратів є необхідним для проектування ефективних теплоенергетичних та теплотехнологічних установок, які працюють в умовах змінних навантажень, або параметрів виробничого процесу. Крім того, в багатьох випадках, теплообмінний апарат є не самостійним об'єктом регулювання, а окремою ланкою теплопередавальної системи (ТПС).

Основним завданням підвищення ефективності роботи теплообмінних апаратів в режимах від мінімального до максимального навантаження є забезпечення максимально можливого ККД котла або теплопередавальної системи, де теплообмінник є робочим, або регульованим елементом.

Вдосконалення існуючих теплопередавальних технологій, а також розроблення і проектування нових є неможливим без використання сучасних методів їх моделювання. Під час розроблення чисельних методів моделювання, які можуть бути ефективно використані для розв'язання технологічних, інженерних і режимних задач на об'єктах теплоенергетики, доцільно використовувати максимально адекватні моделі.

Існуючі методи розрахунків та досліджень теплообмінних вузлів теплоенергетичних об'єктів розроблені, в основному, лише для автономних, а не взаємозв'язаних теплообмінників. Для розрахунків передбачено використання номограм, а не прикладних програм для розрахунків на комп'ютерах. Ці методи вже не відповідають теперішнім потребам та можливостям. Тому для удосконалення теплоенергетичних об'єктів, підвищення ефективності їх роботи безумовно актуальним є моделювання ТПС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась за науковим напрямом кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій Національного університету

«Львівська політехніка», згідно з господарським договором «Розрахунки температурних режимів роботи устаткування котлів ТПП-312 енергоблоків 300 МВт Ладижинської ТЕС» за номером реєстрації науково-дослідної роботи № 210/624 від 05.07.2006 р., а також згідно з держбюджетною темою «Теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження ефективності роботи котельних установок в процесі довготривалої експлуатації» за номером державної реєстрації 0115U000439.

Також роботи виконувались за планами робіт ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС», які враховували положення координаційних планів галузі, рішень науково-технічних конференцій, семінарів, нарад з проблем енергозбереження, зокрема:

- «Режимні розрахунки роботи устаткування енергоблоків 200 МВт Бурштинської ТЕС» Шифр роботи 2004-14 (Львів 2005);
- «Режимні розрахунки котлів блоків 300 МВт Трипільської ТЕС» Шифр роботи 2004-20 (Львів 2005);
- «Проміжні температурні розрахунки котлів ТП-92 Добротвірської ТЕС» Шифр роботи 2005-8 (Львів 2005);
- «Визначення температурних характеристик котлів ТП-10 Добротвірської ТЕС» Шифр роботи 2005-13 (Львів 2005).

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є створення теоретичних основ моделювання та режимних розрахунків конвективних теплопередавальних систем парових котлів; удосконалення існуючих і створення нових методик моделювання та режимних розрахунків, а також розроблення моделей взаємозв'язаних гріючим теплоносієм кількох теплообмінників для аналізу їх роботи в режимах від мінімального до максимального навантаження.

Для досягнення мети у роботі поставлено такі завдання:

- розробити, для об'єктів теплоенергетики, методичні основи побудови моделей теплопередавальних систем взаємозв'язаних теплообмінників;
- вдосконалити методику режимних розрахунків для визначення наслідків внесених режимних змін у теплопередавальну систему взаємозв'язаних теплообмінників на основі відомих вхідних та вихідних температур теплоносіїв;
- розробити моделі теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10 теплових електричних станцій для аналізу їх роботи в режимах від мінімального до максимального навантаження;
- визначити значення безрозмірних режимних коефіцієнтів K_{IN} в номінальному режимі роботи при вихідних значеннях об'єктних параметрів для теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10;
- встановити адекватність розроблених моделей теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів експериментальним шляхом під час внесення в них режимних змін;
- розробити нові схеми та способи регулювання температури пари проміжного перегріву парових котлів енергоблоків.

Об'єкт дослідження – теплові процеси в конвективних поверхнях нагріву парових енергетичних котлів ТЕС.

Предмет дослідження – вплив величини вхідної температури робочих тіл на ефективність роботи конвективних теплообмінних поверхонь.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс теоретичних та експериментальних методів, а також моделювання теплових процесів в конвективних теплопередавальних системах парових енергетичних котлів ТЕС.

Достовірність досліджень забезпечена застосуванням сучасних підходів до розробки моделей та використанням гіпотез відносно теплових процесів, що вивчаються.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено методичні основи побудови моделей теплопередавальних систем взаємозв'язаних теплообмінників об'єктів теплоенергетики.

2. Вдосконалено методику режимних розрахунків теплопередавальних систем взаємозв'язаних теплообмінників на основі відомих вхідних та вихідних температур теплоносіїв.

3. Розроблено нові моделі теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10 теплових електричних станцій.

4. Вперше отримано результати розрахунку безрозмірних режимних коефіцієнтів K_{IN} теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10 в номінальному режимі роботи. Досліджено взаємний вплив вхідних та вихідних температур на процес перенесення тепла від гріючого до нагріваних теплоносіїв.

Практичне значення отриманих результатів.

Сформовано схеми та розроблено моделі конвективних теплопередавальних систем поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92, ТП-10 ТЕС, які орієнтовано на практичне застосування в режимах від мінімального до максимального навантаження. Розроблені моделі дають змогу прогнозувати вихідні температури теплоносіїв, у випадку зміни вхідних температур, аналізувати роботу теплообмінних апаратів без виконання реальних трудовозатратних випробувань, що часто є складним або і неможливим для виконання завданням в робочих умовах обладнання.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на Ладжинській, Трипільській, Бурштинській, Добротвірській теплових електричних станціях, ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС», зокрема, розроблені моделі конвективних теплопередавальних систем використовуються під час дослідження ефективності роботи обладнання.

Отримана автором нова методика режимних розрахунків використовується у навчальному процесі для підготовки фахівців за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» під час викладання дисципліни «Математичне моделювання в теплоенергетиці» та за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» під час викладання дисципліни «Математичне моделювання в атомній

енергетиці», а також для написання бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт.

Розроблено спосіб регулювання температури пари промперегріву в пускових режимах прямотруминного котла (Патент України на винахід № 73425).

Розроблено спосіб регулювання температури пари промперегріву в пускових режимах енергоблоків (Патент України на винахід № 73826).

Особистий внесок здобувача.

Полягає у дослідженні та аналізі режимів роботи конвективних теплопередавальних систем парових котлів ТЕС. Основні результати, викладені в дисертації, отримані автором самостійно. Автору особисто належать ідеї та розробки, пов'язані зі створенням нових методичних основ моделювання і розрахунків теплопередавальних систем, а також розроблення моделей елементів теплопередавальних систем, які можна використати для створення програм автоматизованого аналізу роботи теплоенергетичного обладнання.

Особистий внесок здобувача в опублікованих наукових працях, написаних у співавторстві, вказаний для кожної публікації окремо в списку публікацій.

Апробація результатів дослідження.

Основні положення і результати роботи доповідались, обговорювались та отримали позитивні відгуки на науково-технічних та науково-практичних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність – 2002» (Київ, 29-30 жовтня 2002 р.); IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми економії енергії» (Львів, 8-12 жовтня 2003 р.); 10-я Международная научно-практическая конференция «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития» (Київ, Пуща-Водица, 18-22 сентября 2014 г.); Международная научно-практическая конференция «Современные практики проведения реконструкций, капитальных ремонтов и текущей эксплуатации основного и вспомогательного оборудования ТЭС» (Львов, 10-12 марта 2015 р.); 11-я Международная научно-практическая конференция «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития» (Київ, 16-20 сентября 2015 г.); VIII Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (Львів, 2-3 квітня 2015 р.); IX Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (Львів, 6-7 квітня 2017 р.).

Публікації.

За темою дисертації опубліковано 12 наукових публікацій, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних (1 – *Scopus*, 1 – *Index Copernicus*), 4 публікації у матеріалах міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій та отримано 2 патенти України на винахід.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатку. Загалом обсяг дисертаційної

роботи складає 186 сторінок з яких: 167 сторінок основної частини, яка містить 37 рисунків та 18 таблиць. 11 сторінок списку використаних джерел літератури з 104 найменувань та 5 сторінок додатку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, охарактеризовано предмет, об'єкт та методи досліджень, зазначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, її зв'язок з науковими програмами, темами. Наведено апробацію результатів роботи, дані про кількість публікацій та особистий внесок автора.

У першому розділі здійснено огляд літературних джерел та висвітлено значну кількість напрацювань з удосконалення методів теплових розрахунків теплообмінників. Встановлено потребу в радикальних змінах існуючих підходів та методів теплових розрахунків під час досліджень та експлуатації систем теплообмінників, взаємозв'язаних між собою теплоносіями та зв'язаних з іншими елементами енергоустановок.

Відзначено, що зростання потужності енергоустановок, зокрема, котельних агрегатів ТЕС, ускладнення їх вузлів із взаємозв'язаних теплообмінників та збільшення кількості факторів режимного і конструктивного впливу на теплопередавальні системи істотно обмежили можливості експериментальних досліджень умовами безпеки, коштів і часу.

Проаналізовано, що на даний час гострою є потреба досліджень впливу режимних і конструктивних змін на теплообмінники, стан яких в експлуатаційних умовах відрізняється від проектного, а застосування класичних методів перевірочних розрахунків ускладнюється труднощами отримання необхідної початкової інформації про фактичне значення витрати теплоносіїв та фактичний стан поверхонь нагріву теплообмінників. Особливо істотні ускладнення виникають під час досліджень комплексів взаємозв'язаних теплообмінників, а також при дослідженнях властивостей обладнання на підставі вихідної інформації, отриманої з експлуатаційних установок.

У другому розділі для аналізу термодинамічних процесів в енергоустановці запропоновано комплект елементів, достатній для зображення ТПС і є зручним для її моделювання (рис. 1).

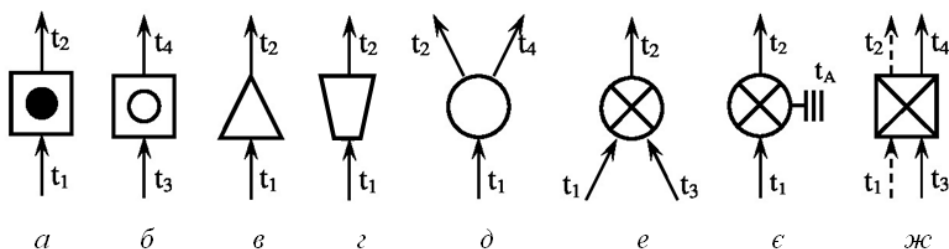


Рис. 1. Елементи термодинамічних систем:

- а* – генератор тепла (гаряче джерело енергії); *б* – технологічний споживач тепла;
в – компресор (помпа); *г* – тепловий двигун; *д, е* – дільник і змішувач потоків теплоносіїв;
є – навколишнє середовище (холодне джерело енергії); *ж* – теплообмінник;
 t_1, t_2 – температура нагріваного теплоносія, відповідно, на вході і виході;
 t_3, t_4 – температура гріючого теплоносія, відповідно, на вході і виході;
 t_A – температура навколишнього середовища

Для моделювання та дослідження властивостей ТПС виділено шість основних її видів, які зображено на рис. 2.

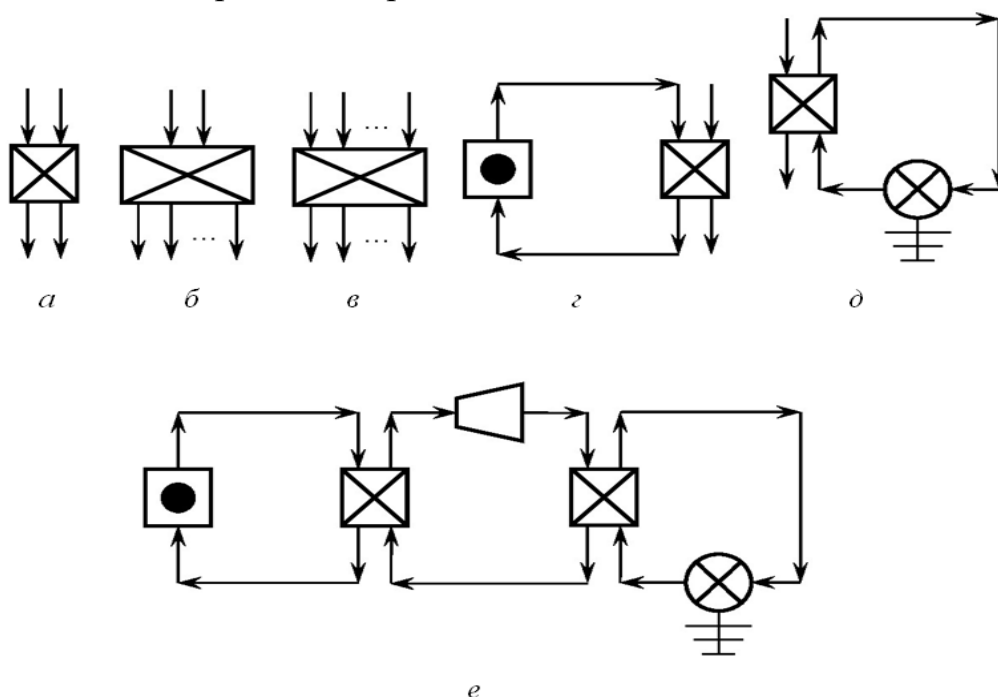


Рис. 2. Основні види теплопередавальних систем:

*a – в – відкриті ТПС (двопотокова, двопотокова тільки на вході, багатопотокова);
г, д – напіввідкриті ТПС; е – замкнута ТПС*

Для опису ТПС енергоустановок і умов їх функціонування виділено такі групи величин:

а) об'єктні параметри – параметри об'єкта (елемента, підсистеми, ТПС в цілому);

б) режимні параметри – параметри зовнішніх зв'язків об'єкта з іншими об'єктами;

в) потужність.

Об'єктні параметри характеризують, насамперед, здатність об'єкта сприймати, віддавати і передавати тепло. Відповідно об'єктними параметрами ТПС є:

а) теплоємність потоку теплоносія, Вт/град:

$$\dot{C} = G \cdot c, \quad (1)$$

де G – витрата теплоносія, кг/с;

c – питома ізобарна теплоємність теплоносія, Дж/(кг·град);

б) теплоперепуск поверхні теплопередачі, Вт/град:

$$\dot{K} = k \cdot F, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·град);

F – площа поверхні теплопередачі, м².

За необхідності кожен з параметрів правої частини виразів (1) і (2) – G , c , k , F – може використовуватися як самостійний об'єктний параметр.

Основним режимним параметром, який відображає зовнішні зв'язки досліджуваного об'єкта із іншими об'єктами ТПС відзначено температуру теплоносіїв на вході і виході з елементів. У цьому випадку температура

теплоносія на вході відображає зовнішній вплив на елемент, а температура теплоносія на виході є наслідком змін на вході і всередині елемента.

У підсумку вихідний математичний опис ТПС буде представляти собою систему рівнянь температурних характеристик елементів і з'єднань елементів з однаковою температурою на початку та в кінці лінії з'єднання. Розв'язком зазначеної системи рівнянь може бути отримана зручна для конкретних завдань форма моделі ТПС.

Використання узагальнених безрозмірних параметрів дає можливість компактно і наочно представляти характеристики ТПС для всього діапазону роботи системи.

Під час формування узагальненої температури теплоносія у складі ТПС було обрано базову різницю температур яка, як правило, є різницею найвищої та найнижчої температур теплоносіїв на вході в ТПС, а також значення температури в інших точках ТПС, які виражаються по відношенню до цієї базової.

Для теплообмінників відомо:

- узагальнена температура нагріваного теплоносія:

$$P_2 = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}; \quad (3)$$

- узагальнена температура гріючого теплоносія:

$$P_4 = \frac{t_4 - t_1}{t_3 - t_1}. \quad (4)$$

Аналогічно, узагальнена теплоємність потоку є безрозмірним відношенням теплоємності даного потоку до теплоємності базового потоку:

$$R_1 = \frac{G_1 \cdot c_1}{G_3 \cdot c_3}, \quad (5)$$

де $G_1 \cdot c_1$ – теплопоглинальна здатність (теплоємність) потоку 1, Вт/град;

$G_3 \cdot c_3$ – тепловіддавальна здатність (теплоємність) потоку 3, Вт/град,

а узагальнений теплоперепуск поверхні теплопередачі – це відношення теплоперепуску поверхні до теплоємності потоку теплоносія:

$$H_1 = \frac{k \cdot F}{G_1 \cdot c_1}; \quad (6)$$

$$H_3 = \frac{k \cdot F}{G_3 \cdot c_3}, \quad (7)$$

де $k \cdot F$ – теплопередавальна здатність стінки (теплопередавальність), Вт/град, при чому:

$$H_3 = H_1 \cdot R_1. \quad (8)$$

У рівняннях (3) – (4) величини P_2 , P_4 – узагальнені режимні параметри, а в рівняннях (5) – (7) величини R_1 , H_1 , H_3 – узагальнені об'єктні параметри теплообмінника. З рівняння (8) випливає, що незалежними є лише два об'єктних параметри (R_1 і H_1 чи R_1 і H_3).

Температурні характеристики теплообмінника можуть бути представлені в розмірному або узагальненому вигляді:

$$\{t_2, t_4\} = f[t_1, t_3, k, F, G_1, c_1, G_3, c_3];$$

$$\{P_2, P_4\} = \varphi(R_1, H_1).$$

Загальний розрахунковий вираз температурної характеристики для ТПС має вигляд:

$$t_{2j} = \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot (t_{10i})^{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n b_{jk} \cdot q_k^{\beta_k}, \quad (9)$$

де t_{2j} – температура теплоносія на виході елемента “j”, °C;

t_{10i} – температура теплоносія в потоці “i” на вході його в ТПС, °C;

q_k – питома теплова потужність генератора або споживача тепла (°C), яка визначається за рівнянням:

$$q_k = \frac{Q}{G \cdot c} = \frac{G \cdot c \cdot \Delta t}{G \cdot c} = \Delta t,$$

Q – теплова потужність теплоносія, Вт;

a_{ij}, b_{jk} – коефіцієнти, розрахункові вирази (значення) яких сформовані тільки з об’єктних параметрів;

α_i, β_k – показники степені;

m – загальна кількість вхідних “k” потоків ТПС;

n – загальна кількість генераторів і споживачів тепла в ТПС.

На основі аналізу технологічних схем та методів проектних (конструкторських) та перевірочних розрахунків енергоустановок показано, що для вирішення задач їх діагностування та оптимізації ефективнішим є зображення енергоустановки у вигляді системи, елементи якої відрізняються за термодинамічними ознаками: стиснення і розширення, генерування і поглинання тепла, розділення і змішування теплоносіїв, теплопередача, атмосфера (рис. 1).

Моделі всіх елементів уніфіковано, в них застосовано узагальнені безрозмірні об’єктні параметри.

Для подальшого зображення та дослідження системи конвективних поверхонь нагріву парового котла виявилось достатнім використання лише одного типу елемента – конвективний теплообмінник (з шістьма варіантами схем руху теплоносіїв). Сукупність таких взаємозв’язаних теплообмінників утворює конвективну ТПС парового котла. Ця система є розімкнутою, в якій існують зовнішні зв’язки потоків.

Сформовано нові методичні підходи до розрахунків як окремих теплообмінників, так і систем взаємозв’язаних теплообмінників. Для цього було виділено три види задач:

- проектні:

$$\{k \cdot F, G_1 \cdot c_1, G_3 \cdot c_3\} = f[t_1, t_2, t_3, t_4, Q, \text{схема}], \quad (10)$$

- перевірочні:

$$\{Q, t_2, t_4\} = f[t_1, t_3, G_1 \cdot c_1, G_3 \cdot c_3, k \cdot F, \text{схема}], \quad (11)$$

- режимні:

$$\left\{ \Delta t_2, \Delta t_4, \frac{\Delta Q}{Q} \right\} = f \left[t_1, t_2, t_3, t_4, \Delta t_1, \Delta t_3, \frac{\Delta(k \cdot F)}{k \cdot F}, \frac{\Delta(G_1 \cdot c_1)}{G_1 \cdot c_1}, \frac{\Delta(G_3 \cdot c_3)}{G_3 \cdot c_3}, \text{схема} \right]. \quad (12)$$

Надалі було застосовано узагальнені параметри, кожен з яких може бути визначений як на основі режимних параметрів, так і на основі об'єктних параметрів:

$$P_i \equiv \frac{t_i - t_1}{t_3 - t_1} = f_{P_i} \left(\frac{k \cdot F}{G_1 \cdot c_1}, \frac{G_1 \cdot c_1}{G_3 \cdot c_3}, \text{схема} \right); \quad (15)$$

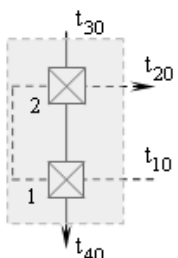
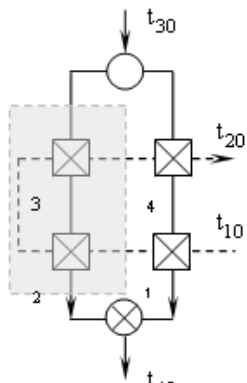
$$R_1 \equiv \frac{G_1 \cdot c_1}{G_3 \cdot c_3} = \frac{t_3 - t_4}{t_2 - t_1}; \quad (16)$$

$$H_1 \equiv \frac{k \cdot F}{G_1 \cdot c_1} = f_H \left(\frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}, \frac{t_3 - t_4}{t_2 - t_1}, \text{схема} \right). \quad (17)$$

Залежності (15) і (17) розкрито у формах, придатних для обчислень без послідовних наближень.

На прикладі повітропідігрівника парового котла виконано аналіз та дослідження багатоступеневих теплообмінників, що дало змогу сформулювати особливості їх моделей та розрахунків, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Особливості моделей та розрахунків повітропідігрівника парового котла

Системи теплообмінників $\left(R_{0A} = R_{0B} = R_{0C} = R_0 \right); H_j = h_j H_0$ $\left(H_{0A} = H_{0B} = H_{0C} = H_0 = \sum H_j \right); H_j = h_j H_0$		
Схеми	Початкова інформація	Алгоритми розрахунків
<p>1</p> 	$t_{10} = 30^\circ\text{C}$ $t_{20} = 190^\circ\text{C}$ $t_{30} = 280^\circ\text{C}$ $t_{40} = 150^\circ\text{C}$ $R_j = R_0$ $H_j = h_j H_0$	$t_{ij} = t_{10} + U_{ij} (t_{30} - t_{10}) \quad U_{ij} = f(P_{21}, P_{41}, P_{22}, P_{42})$ $U_{20} = \frac{t_{20} - t_{10}}{t_{30} - t_{10}}; U_{40} = \frac{t_{40} - t_{10}}{t_{30} - t_{10}}; R_0 = \frac{t_{30} - t_{40}}{t_{20} - t_{10}}$ $P_{2j} = f(U_{20}, H_j, R_j); H_j = f(P_{2j}, R_j); H_0 = \frac{H_j}{h_j}$
<p>2</p> 	$t_{10} = 30^\circ\text{C}$ $t_{30} = 280^\circ\text{C}$ $R_{0B} = R_{0A}$ $H_{0B} = H_{0A}$ $R_j = 2R_0$ $H_j = h_j H_0$	$t_{ij} = t_{10} + W_{ij} (t_{30} - t_{10})$ $W_{ij} = f(P_{21}, P_{41}, P_{24}, P_{44}, U_{42}, U_{23})$ $U_{ij} = \frac{t_{ij} - t_{12}}{t_{33} - t_{12}} = f(P_{22}, P_{42}, P_{23}, P_{43}); P_{ij} = f(H_{ij}, R_{ij})$ $t_{40} = 0,5(t_{41} + t_{42})$

Температурні характеристики двоходового теплообмінника для схеми 1 (табл. 1) наведено на рис. 3, а для схеми 2 (табл. 1) наведено на рис. 4.

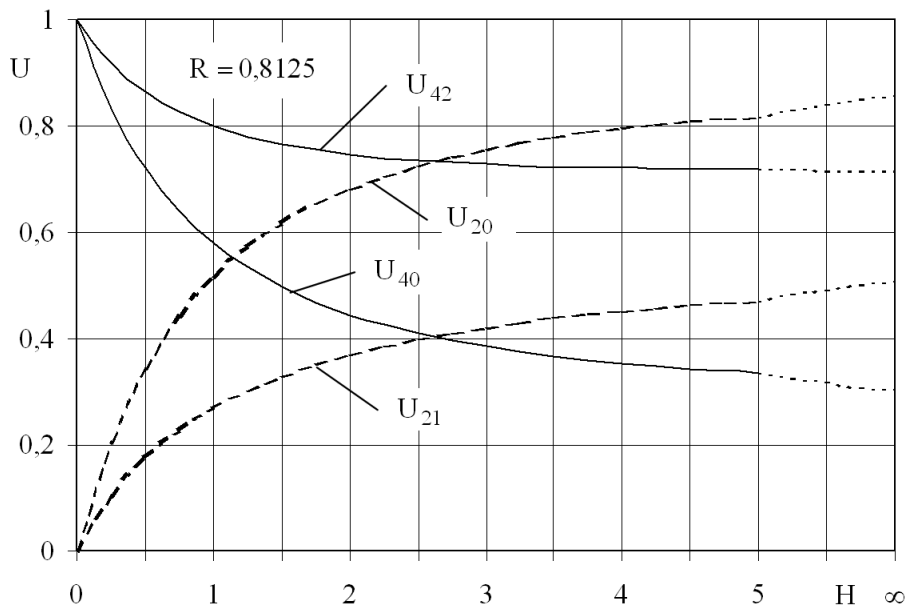


Рис. 3. Температурні характеристики двоходового теплообмінника схема 1 (табл. 1)

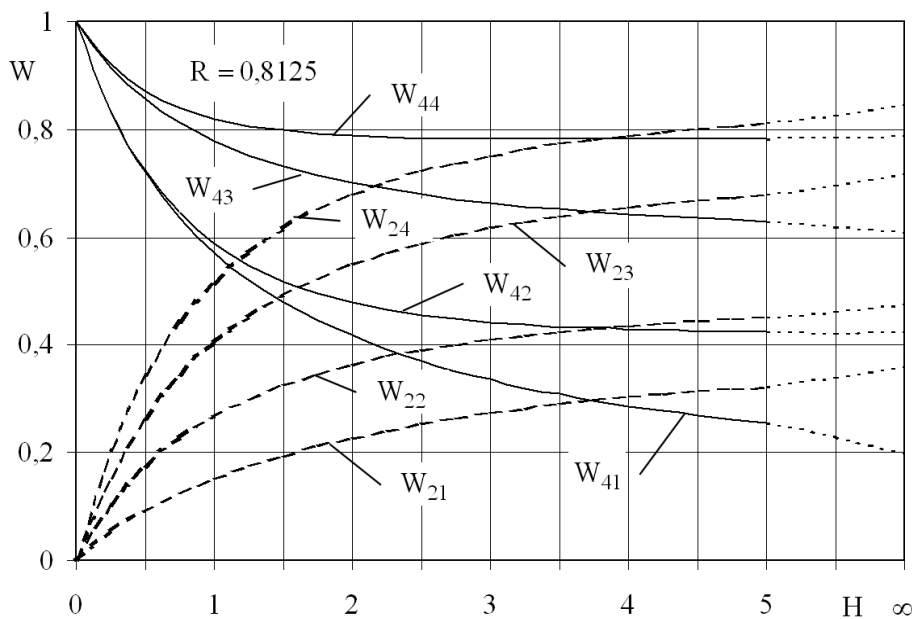


Рис. 4. Температурні характеристики двоходового теплообмінника схема 2 (табл. 1)

З рис. 3 та рис. 4 бачимо, що із збільшенням теплоперепуску N зростає різниця між температурними характеристиками теплообмінників. У діапазоні $N=0 \div 3$ зміна значень N впливає на характеристики істотно. При $N > 3$ цей вплив стає значно слабшим.

У підсумку сформовано істотно нові підходи до формування і застосування моделей теплообмінників та теплопередавальних систем, які дають змогу виконувати режимні розрахунки ТПС парових котлів ТЕС.

У третьому розділі виконано моделювання теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10, які встановлено на ТЕС України.

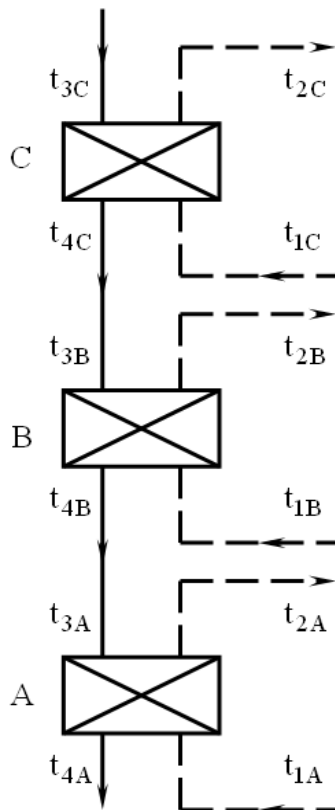


Рис. 5. Схема теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А: А – повітропідігрівник; В – водяний економайзер; С – проміжний пароперегрівник

Моделювання теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву представимо на прикладі парового котла ТПП-210А.

Вихідними даними для моделювання була схема руху середовищ (теплоносіїв) в паровому котлі ТПП-210А із зазначенням температур теплоносіїв у номінальному режимі.

Для парового котла ТПП-210А конвективна ТПС складається із сукупності таких трьох підсистем: повітропідігрівника (підсистема А); водяного економайзера (підсистема В); проміжного пароперегрівника (підсистема С) (рис. 5).

Особливість системи полягала в тому, що через кожен підсистему послідовно проходив один і той же гріючий теплоносіїв (димові газ), а нагрівані теплоносії у всіх підсистемах були різними (повітря, вода, пара). Всі підсистеми були двопотоковими (в кожній з них було по два входи і два виходи теплоносіїв).

Система розглядалась як автономна (всі вхідні потоки були незалежними), розімкнута, багатопотокова.

Із схеми (рис. 5) видно, що зміни режимних та об'єктних параметрів у повітропідігрівнику впливають тільки на його вихідні температури. На водяний економайзер та проміжний пароперегрівник вони не впливають.

Зміни режимних та об'єктних параметрів у водяному економайзері впливають як на його вихідні температури, так і на температури у повітропідігрівнику. На проміжний пароперегрівник вони не впливають.

Зміни режимних та об'єктних параметрів у проміжному пароперегрівнику впливають як на його вихідні температури, так і на температури у водяному економайзері та повітропідігрівнику, тобто впливають на всі підсистеми.

Формування моделі ТПС конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А для початкового стану представимо у вигляді рівняння елементів:

$$t_{2N} = (1 - W_{2N}) \cdot t_{1N} + W_{2N} \cdot t_{3N}; \quad t_{4N} = (1 - W_{4N}) \cdot t_{1N} + W_{4N} \cdot t_{3N}; \quad N \in \{A, B, C\},$$

де узагальнені параметри елементів:

$$W_{2N} = \frac{t_{2N} - t_{1N}}{t_{3N} - t_{1N}}; \quad W_{4N} = \frac{t_{4N} - t_{1N}}{t_{3N} - t_{1N}}, \quad (18)$$

та рівняння з'єднань:

$$t_{3B} = t_{4C}; \quad t_{3A} = t_{4B}.$$

Модель схеми ТПС парового котла ТПП-210А у загальному вигляді складається з рівнянь елементів, рівнянь з'єднань та узагальнених параметрів:

$$t_{iN} = K_{iN1A} \cdot t_{1A} + K_{iN1B} \cdot t_{1B} + K_{iN1C} \cdot t_{1C} + K_{iN3C} \cdot t_{3C}, \quad (19)$$

де i – індекс вихідного потоку; N – назва підсистеми (А, В, С).

Залежності режимних коефіцієнтів K_{iN} моделі теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А зведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Режимні коефіцієнти K_{iN} моделі теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А

t_{iN}	K_{iN1A}	K_{iN1B}	K_{iN1C}	K_{iN3C}
t_{2C}	0	0	$1 - W_{2C}$	W_{2C}
t_{4C}	0	0	$1 - W_{4C}$	W_{4C}
t_{2B}	0	$1 - W_{2B}$	$W_{2B} \cdot (1 - W_{4C})$	$W_{2B} \cdot W_{4C}$
t_{4B}	0	$1 - W_{4B}$	$W_{4B} \cdot (1 - W_{4C})$	$W_{4B} \cdot W_{4C}$
t_{2A}	$1 - W_{2A}$	$W_{2A} \cdot (1 - W_{4B})$	$W_{2A} \cdot W_{4B} \cdot (1 - W_{4C})$	$W_{2A} \cdot W_{4B} \cdot W_{4C}$
t_{4A}	$1 - W_{4A}$	$W_{4A} \cdot (1 - W_{4B})$	$W_{4A} \cdot W_{4B} \cdot (1 - W_{4C})$	$W_{4A} \cdot W_{4B} \cdot W_{4C}$

Аналогічно виконано моделювання теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТП-100, ТП-92 та ТП-10. В результаті для вказаних парових котлів розроблено узагальнені моделі ТПС та встановлено залежності режимних коефіцієнтів K_{iN} .

У четвертому розділі здійснено розрахунки та аналіз попередньо розроблених моделей теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10, а також в результаті моделювання та аналізу роботи впорскувальних пристроїв парових котлів запропоновано нові способи регулювання температури пари проміжного перегріву.

Результати розрахунків моделювання теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву представимо на прикладі парового котла ТПП-210А.

Схема теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А із зазначенням температур відповідних теплоносіїв в номінальному режимі наведена на рис. 6.

Розрахунок значень режимних коефіцієнтів виконано шляхом підставлення значень температур теплоносіїв в номінальному режимі в рівняння (18) для визначення узагальнених параметрів підсистем А, В, С.

Чисельні значення режимних коефіцієнтів для заданого початкового стану схеми теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А розраховані за допомогою прикладних програм на комп'ютері та представлені у табл. 3.

Відповідно до рівняння (19) взаємозв'язки температур елементів моделей теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А мають вигляд:

Для проміжного пароперегрівника (підсистема С):

$$t_{2C} = 0 \cdot t_{1A} + 0 \cdot t_{1B} + 0,5911 \cdot t_{1C} + 0,4089 \cdot t_{3C};$$

$$t_{4C} = 0 \cdot t_{1A} + 0 \cdot t_{1B} + 0,7027 \cdot t_{1C} + 0,2973 \cdot t_{3C}.$$

Для водяного економайзера (підсистема В):

$$t_{2B} = 0 \cdot t_{1A} + 0,8326 \cdot t_{1B} + 0,1177 \cdot t_{1C} + 0,0497 \cdot t_{3C};$$

$$t_{4B} = 0 \cdot t_{1A} + 0,3256 \cdot t_{1B} + 0,4739 \cdot t_{1C} + 0,2005 \cdot t_{3C}.$$

Для повітропідігрівника (підсистема А):

$$t_{2A} = 0,2974 \cdot t_{1A} + 0,2287 \cdot t_{1B} + 0,3330 \cdot t_{1C} + 0,1409 \cdot t_{3C};$$

$$t_{4A} = 0,6184 \cdot t_{1A} + 0,1242 \cdot t_{1B} + 0,1809 \cdot t_{1C} + 0,0765 \cdot t_{3C}.$$

Для температури відхідних газів парового котла ТПП-210А маємо:

$$t_{4A} = 0,6184 \cdot t_{1A} + 0,1242 \cdot t_{1B} + 0,1809 \cdot t_{1C} + 0,0765 \cdot t_{3C}.$$

Для зміни температури відхідних газів парового котла ТПП-210А маємо:

$$\Delta t_{4A} = 0,6184 \cdot \Delta t_{1A} + 0,1242 \cdot \Delta t_{1B} + 0,1809 \cdot \Delta t_{1C} + 0,0765 \cdot \Delta t_{3C}.$$

Тобто у випадку підвищення температури холодного повітря на 10 °С ($\Delta t_{1A} = 10$ °С) температура відхідних газів зросте на 6,2 °С ($\Delta t_{4A} = 6,2$ °С).

Якщо ж на 10 °С ($\Delta t_{3C} = 10$ °С)

зросте температура димових газів на вході в ТПС, то температура відхідних газів збільшиться на 0,8 °С ($\Delta t_{4A} = 0,8$ °С).

За результатами експериментальних досліджень роботи повітропідігрівника парового котла ТПП-210А було встановлено, що похибка між розрахунковими значеннями отриманими за моделлю і експериментальними склала 1,6 %, що знаходиться в межах похибки приладу.

Якщо в підсистемі N змінюються її об'єктні параметри, то це відповідно впливає на значення W_{2N} і W_{4N} , а це, в свою чергу, впливає на значення режимних коефіцієнтів K_{iN} .

Для температури відхідних газів матимемо такі залежності:

$$K_{4A1Ax} = 1 - W_{4A} = K_{4A1A},$$

$$K_{4A1Bx} = W_{4A} \cdot (1 - W_{4B}) = K_{4A1B},$$

$$K_{4A1Cx} = W_{4A} \cdot W_{4B} \cdot (1 - W_{4Cx}),$$

$$K_{4A3Cx} = W_{4A} \cdot W_{4B} \cdot W_{4Cx},$$

де індексом "x" позначені параметри у зміненому режимі.

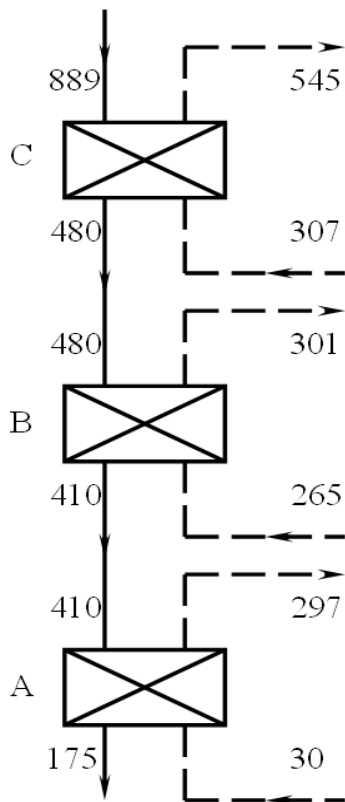


Рис. 6. Розрахункова схема теплопередавальної системи конвективних поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А із зазначенням температур відповідних теплоносіїв у номінальному режимі

Як бачимо, у цьому випадку змінюються значення лише двох режимних коефіцієнтів. Тоді зміну температури можна визначити за рівнянням:

$$\Delta t_{4A} = t_{4Ax} - t_{4A} = W_{4A} \cdot W_{4B} \cdot (t_{3C} - t_{1C}) \cdot (W_{4Cx} - W_{4C}).$$

Для дослідженого режиму парового котла ТПП-210А матимемо:

$$\Delta t_{4A} = 0,3816 \cdot 0,6744 \cdot (889 - 307) \cdot \Delta W_{4C} = 149,5 \cdot \Delta W_{4C}.$$

Визначення зміни W_{4C} є автономною задачею розрахунків системи С.

Таблиця 3 – Значення режимних коефіцієнтів K_{iN} за початкових значень об'єктних параметрів для парового котла ТПП-210А у номінальному режимі

t_{iN}	K_{iN1A}	K_{iN1B}	K_{iN1C}	K_{iN3C}
t_{2C}	0	0	0,5911	0,4089
t_{4C}	0	0	0,7027	0,2973
t_{2B}	0	0,8326	0,1177	0,0497
t_{4B}	0	0,3256	0,4739	0,2005
t_{2A}	0,2974	0,2287	0,3330	0,1409
t_{4A}	0,6184	0,1242	0,1809	0,0765

Аналогічно здійснено розрахунки та аналіз попередньо розроблених моделей теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів ТПП-312, ТП-100, ТП-92 та ТП-10.

Отримані закономірності моделювання змішувача потоків через температурні характеристики було використано для аналізу процесів регулювання температури пари проміжного перегріву та моделювання впорскувальних пристроїв. Розроблені моделі застосовано для регулювання температури пари проміжного перегріву прямотокових парових котлів енергоблоків потужністю 300-800 МВт, в результаті чого запропоновано нові способи її регулювання в пускових режимах роботи.

Схему регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи енергоблоків наведено на рис. 7.

В основі запропонованої схеми закладено вдосконалення способу регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах енергоблоків та підвищення надійності роботи устаткування.

Спосіб реалізується таким чином.

Живильна вода, яка пройшла через випарні поверхні нагріву котла 11, надходить у вбудований сепаратор 14, де проходить відділення пари від води. Пара по лінії випару надходить в перегрівні поверхні нагріву 13, де перетворюється в перегріту пару, яка іде в частину високого тиску турбіни 1.

Відпрацьована пара з частини високого тиску турбіни 1 надходить в проміжний перегрівник котла 2, перегрівається і по паропроводу 3 подається в частину середнього тиску турбіни 5. У цьому випадку, для регулювання температури пари проміжного перегріву в паропровід 3 подається із колектора власних потреб 7 перегріта пара, або із відбору турбіни 1 через додатково встановлені трубопроводи 6 і 8 та запірну 9 і регулювальну арматуру 10.

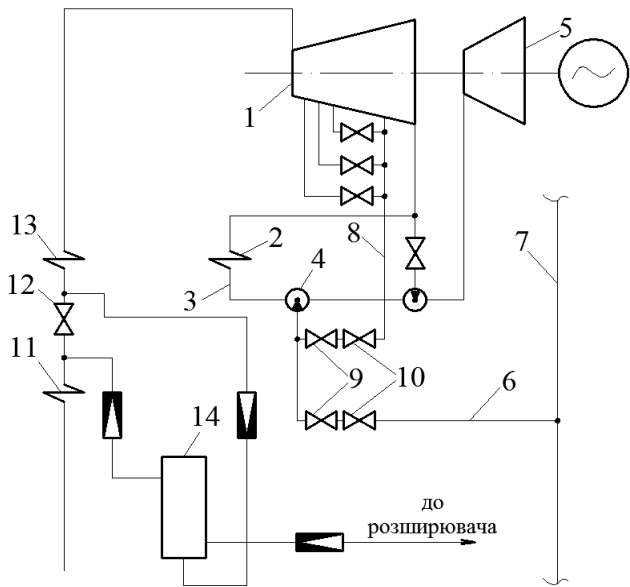


Рис. 7. Схема регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи енергоблоків

устаткування на початковій стадії пуску.

Спосіб реалізується таким чином.

Живильна вода, яка пройшла через випарні поверхні нагріву котла 9 і перегрівні поверхні нагріву котла 10, випаровується, перетворюється в перегріту пару і надходить в частину високого тиску турбіни 1. Відпрацьована

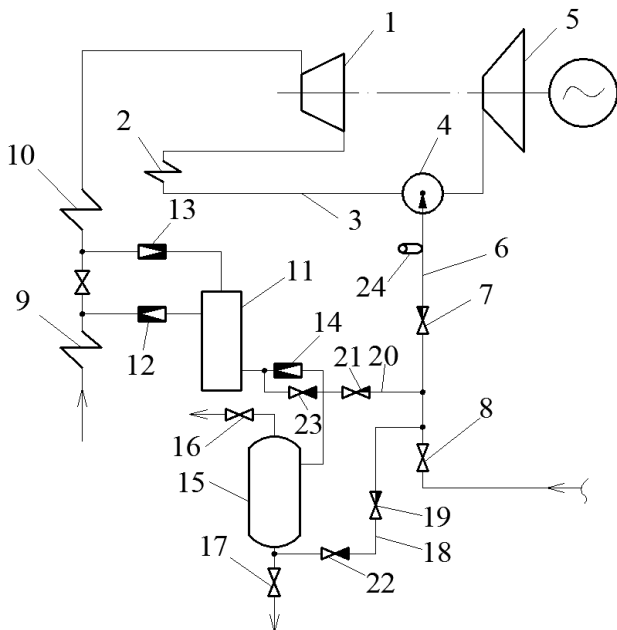


Рис. 8. Схема регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи прямого котла

Таким чином, змішування потоків перегрітої пари з різною температурою, забезпечує найбільш плавне регулювання температури пари проміжного перегріву та підвищує надійність роботи проміжного пароперегрівника і паропроводів у пускових режимах.

На рис. 8 представлена схема регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи прямого котла.

В основі запропонованої схеми закладено принцип вдосконалення способу регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи прямого котла та підвищення надійності і економічності

в частині високого тиску турбіни пара надходить в проміжний перегрівник котла 2, повторно підігрівається і по паропроводу 3 іде в частину середнього тиску турбіни 5.

Регулювання температури пари проміжного перегріву в паропроводі 3 здійснюється шляхом подачі води з розпалювального розширювача 15 через додатково встановлені трубопроводи 18 і запірно-регулювальну арматуру 19 в трубопровід 6 і далі на пускові впорскувальні пристрої 4. У цьому випадку арматура 8 закрита.

У зв'язку з тим, що в початковий пусковий період тиск пари в паропроводі і тиск води в трубопроводі 18 створюють

невеликий перепад на регулювальному органі, що забезпечує плавне регулювання температури пари проміжного перегріву за котлом в паропроводі 3.

Потрібно відзначити, що регулювання температури пари проміжного перегріву шляхом подачі води, за температури насичення, з розпалювального розширювача 15 є найбільш економічним, оскільки воду після одержання відповідної її якості, в відомих схемах, скидають по трубопроводу 17 в конденсатор турбіни або в бак запасного конденсату, в зв'язку з чим втрачається тепло води. В даному способі регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах прямогокотлового котла тепло використовується на вироблення електроенергії, що сприяє підвищенню економічності устаткування на початковій стадії пуску прямогокотлового котла.

У додатку наведено відомості щодо актів впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

1. З аналізу літературних джерел встановлено, що існуючі методи та методики розрахунків конвективних поверхонь нагріву парових котлів не дають змогу оперативно визначити наслідки внесених режимних змін у теплопередавальну систему, що складається з кількох теплообмінників, взаємозв'язаних ґріючим теплоносієм.

2. Розроблено методичні основи побудови моделей теплопередавальних систем взаємозв'язаних теплообмінників, які відображають залежність вихідних температур теплоносіїв від вхідних температур і об'єктних безрозмірних параметрів. Показано, що температурні характеристики лінійної ТПС описуються рівняннями, які представляють лінійну залежність вихідних температур теплоносіїв від вхідних температур теплоносіїв.

3. Вдосконалено методику режимних розрахунків для визначення наслідків внесених режимних змін у теплопередавальну систему взаємозв'язаних теплообмінників на основі відомих вхідних та вихідних температур теплоносіїв, яка дає змогу визначити наслідки внесених режимних змін у теплопередавальну систему, зокрема: прогнозувати вплив зміни вхідних температур теплоносіїв на зміну їх вихідних температур, виявляти можливі удосконалення теплопередавальних систем, а також аналізувати роботу теплообмінників в режимах від мінімального до максимального навантаження.

4. Для парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92, ТП-10 теплових електричних станцій вперше розроблено моделі теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву, які відображають основні фізичні явища перенесення теплоти і дають змогу аналізувати їх роботу в режимах від мінімального до максимального навантаження.

5. Визначено значення безрозмірних режимних коефіцієнтів K_{IN} в номінальному режимі роботи при вихідних значеннях об'єктних параметрів для теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів

ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92 та ТП-10. Це дає можливість встановити взаємний вплив температур на процес перенесення тепла від гріючого до нагріваних теплоносіїв.

6. Виконано оцінку адекватності розроблених моделей теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву парових котлів, внаслідок внесених режимних змін. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що похибка між розрахунковими та експериментальними даними для повітропідігрівника парового котла ТПП-210А складає 1,6 %, для повітропідігрівника парового котла ТП-100 – 2,5 %, для повітропідігрівника парового котла ТП-92 – 2,7 %, для повітропідігрівника парового котла ТП-10 – 2,0 %.

7. Запропоновано нові схеми та способи регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи парових котлів та енергоблоків, на які отримано патенти на винахід.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 12 друкованих працях:

1. Mysak J. Development of mathematical models and the calculations of elements of convective heat transfer systems / J. Mysak, I. Galyanchuk, M. Kuznetsova // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – Том 82 № 4/8. – с. 33-41. (SCOPUS) *(особистий внесок здобувача: розроблено моделі елементів теплопередавальної системи, виконання розрахунків, формування статті)*.

2. Galyanchuk I. Mathematical Modelling of the Heat Transfer System of the Convective Heating Surfaces of the TPP-210A Steam Boiler / I. Galyanchuk, T. Kravets // Energy engineering and control systems. – 2020. – № 6. – с. 16-22 (Index Copernicus) *(особистий внесок здобувача: сформовано схеми та моделі конвективної теплопередавальної системи поверхонь нагріву парового котла ТПП-210А, виконання розрахунків, формування статті)*.

3. Чабан О.Й. Моделі і розрахунки елементарних конвективних теплообмінників / О.Й. Чабан, І.Р. Галянчук // Вісник ДУ «Львівська політехніка». «Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація». – 1999. – № 365. – с. 32-40 *(особистий внесок здобувача: уніфіковано моделі теплообмінників, виконання розрахунків, формування статті)*.

4. Галянчук І.Р. Математичні моделі теплопередавальної системи для дво- та триходового теплообмінників / І.Р. Галянчук, М.Я. Кузнецова // «Восточно-європейський журнал передових технологій». – 2013. – № 2/8 (62). – с. 29-32 *(особистий внесок здобувача: сформовано схеми та моделі теплопередавальної системи для дво- та триходового теплообмінників, формування статті)*.

5. Галянчук І.Р. Математичне моделювання та дослідження властивостей повітропідігрівника котла / І.Р. Галянчук, М.Я. Кузнецова // Вісник НУ

«Львівська політехніка». «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація». – 2014. – № 795. – с. 40-50 (*особистий внесок здобувача: сформовано схеми та моделі повітропідігрівника парового котла, виконання розрахунків, формування статті*).

6. Галянчук І.Р. Визначення наслідків режимних змін повітропідігрівача котла ТП-100 / І.Р. Галянчук, Й.С. Мисак, М.Я. Кузнецова // «Енерготехнологии и ресурсозбережение». – 2015. – № 1. – с. 64-72 (*особистий внесок здобувача: сформовано схеми та моделі конвективної теплопередавальної системи поверхонь нагріву парового котла ТП-100, виконання розрахунків, формування статті*).

7. Мисак Й.С. Патент України № 73425 UA 7 F22G5/12. Спосіб регулювання температури пари промперегріву в пускових режимах прямотруминного котла / Й.С. Мисак, І.Р. Галянчук, М.В. Клуб, В.Ф. Близнюк, В.Ю. Крук // опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7 (*особистий внесок здобувача: розробка способу, оформлення*).

8. Мисак Й.С. Патент України № 73826 UA 7 F22G5/00, 5/12. Спосіб регулювання температури пари промперегріву в пускових режимах енергоблоків / Й.С. Мисак, П.О. Гут, В.Ю. Крук, М.В. Клуб, І.Р. Галянчук // опубл. 15.09.2005, Бюл. № 9 (*особистий внесок здобувача: розробка способу, оформлення*).

9. Галянчук І. Регенерація енергії як засіб підвищення енергоефективності / І. Галянчук, О. Чабан // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність – 2002» (Київ, 29-30 жовтня 2002 р.). – 2002. – с. 84. (*Особистий внесок здобувача: аналіз теплоенергетичних установок*)

10. Галянчук І.Р. Особливості впливу конструктивних та режимних змін у двоступеневих теплообмінниках котла / І.Р. Галянчук, Й.С. Мисак // 11-я Международная научно-практическая конференция «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития» (Киев, 16-20 сентября 2015 г.). – 2015. – с. 49-52. (*особистий внесок здобувача: сформовано схеми та моделі теплопередавальної системи для двоступеневих теплообмінників, дослідження впливу конструктивних та режимних змін*).

11. Галянчук І.Р. Структурно-функціональний аналіз теплоенергетичних установок / І.Р. Галянчук, Й.С. Мисак // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (Львів, 2-3 квітня 2015 р.). – 2015. – с. 223-226. (*Особистий внесок здобувача: аналіз теплоенергетичних установок*).

12. Мисак Й. С. Класифікація систем передачі тепла енергоустановок / Й.С. Мисак, І.Р. Галянчук, М.Я. Кузнецова // IX Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (Львів, 6-7 квітня 2017р.). – 2017. – с. 294–296. (*Особистий внесок здобувача: проведено класифікацію всіх можливих теплопередавальних систем*).

АНОТАЦІЯ

Галянчук І.Р. Моделювання конвективних теплопередавальних систем парових котлів ТЕС. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерство освіти і науки України, Львів, 2020.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності роботи конвективних теплопередавальних систем парових котлів ТЕС в режимах від мінімального до максимального навантаження, що призводить до енергозбереження під час генерування теплової та електричної енергії.

В роботі розроблено методичні основи побудови моделей теплопередавальних систем на базі елементарних її елементів у вигляді температурних характеристик для подальшого їх моделювання та дослідження. Математично описано елементи ТПС у вигляді температурних характеристик за допомогою безрозмірних узагальнених параметрів, що відображають залежність вихідних параметрів від вхідних і об'єктних параметрів.

Вдосконалено методику режимних розрахунків, яка дає змогу визначити наслідки внесених режимних та об'єктних змін у теплопередавальну систему взаємозв'язаних гріючим теплоносієм кількох теплообмінних апаратів. Це дає можливість прогнозувати вплив зміни вхідних температур теплоносіїв на зміну їх вихідних температур, виявляти можливі удосконалення теплопередавальних систем, а також аналізувати роботу теплообмінних апаратів.

Для парових котлів ТПП-312, ТПП-210А, ТП-100, ТП-92, ТП-10 розроблено моделі теплопередавальних систем конвективних поверхонь нагріву, які відображають основні фізичні явища перенесення теплоти в них. Для вказаних моделей виведено залежності режимних коефіцієнтів K_{IN} та визначено їх числові значення для номінального режиму роботи.

Запропоновано нові способи регулювання температури пари проміжного перегріву в пускових режимах роботи парових котлів та енергоблоків ТЕС.

Ключові слова: модель, теплопередавальна система, тепла електрична станція, теплоносіїв, теплообмінник.

SUMMARY

Galyanchuk I.R. Modeling of convective heat-transfer systems of steam boilers of thermal power plants. - Manuscript.

Thesis for a Candidate's Degree in Engineering by specialty 05.14.06 – Technical Thermophysics and Industrial Thermal Power Engineering – Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2020.

The thesis is dedicated to the questions of increase of the efficiency of operation of convective heat-transferring systems of steam boilers of thermal power plants in the modes from minimum to maximum load, which leads to energy conservation during generation of thermal and electric energy.

On the basis of the review of literary sources, it is established that the existing methodical apparatus of calculations of several interrelated convective heat-exchanging units of steam boilers, which are a complex thermal energy system, does not meet new requirements, conditions and possibilities of investigations of their operation modes.

As a result of performed work, methodical foundations for building models of heat-transferring systems of interrelated heat-exchangers are elaborated, with the use of generalized non-dimensional object parameters, outgoing and incoming temperatures of coolants.

Methodology of mode calculations is perfected, which allows determining the consequences of introduced mode and objective changes in the heat-transferring system of several heat-exchanging units, interrelated with a heating coolant. This gives a possibility to forecast the impact of change of incoming temperatures of coolants on change of their outgoing temperatures, to detect possible improvements of heat-transferring systems, as well as to analyze the operation of heat-exchanging units.

For steam boilers TPP-312, TPP-210A, TP-100, TP-92, TP-10, models of convective heating surfaces are worked out, which reflect the main physical phenomena of heat transmission in them. Mutual impact of the parameters and components of the mechanism of heat-exchange on the process of heat-transfer from the heating to heated coolants is studied. The elaborated models allow forecasting the influence of change of incoming temperatures of coolants on change of their outgoing temperatures, as well as analyzing operation of heat-exchanging units in modes from minimum to maximum load.

For the above-mentioned models of heat-transferring systems of convective heating surfaces of steam boilers, dependences are deduced, and numeral values of mode coefficients K_{iN} for the nominal operation mode with outgoing values of their object parameters are determined.

On the basis of analysis of the adjustment processes of the steam temperature of intermediate overheating and modeling injection devices, we have suggested and received patents for new ways of adjustment of the steam temperature of intermediate overheating in the start-up modes of operation of steam boilers and power generating units of thermal power plants.

Keywords: model, heat-transfer system, thermal power plant, heated coolant, heat-exchanger.