

- Soviet Socialist Republic]. Kiev: Naukova Dumka, 1970, (15), 32 p. (Rus.)
3. Pat. 4543240 A USA, B 01 J 12/00. Fluidized beds, silicon carbide production / William M. Goldberger // Applicant and patent holder: Superior Graphite Co. — № 06/691,076; applic. date: 14.01.1985; publ. date: 24.09.1985.
  4. Borodulya V.A., Vinogradov L.M., Grebenkov A.G., Mikhailov A.A., Rabinovich O.S. Sintez melkozernistogo karbida kremnija metodom karbotermicheskogo vosstanovlenija kremnezjoma v jelektrotermicheskom kipjashhem sloe [Synthesis of fine silicon carbide by carbothermal reduction of silica in the electrothermal fluidized bed]. *Tezisy dokladov IX Mezhdunarodnaja konferencija «Kremnij-2012»* [IX International Conference «Silicon-2012». Book of abstracts]. St.Petersburg, 9–13 July 2012. St.Petersburg : Fiziko-tehnicheskij institut [Ioffe Institute], 2012, p. 280 (Rus.)
  5. Bogomolov V.O. Kozhan A.P., Bondarenko B.I., Khovavko O.I., Simeyko K.V. Kapsulirovanie kvarcevogogo peska pirouglerodom v jelektrotermicheskom psevdoozhizhenom sloe [Research of the process of quartz sand encapsulation by pyrolytic carbon]. *Jenergotehnologii i resursozbezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2013, (5), pp. 36–40. (Rus.)
  16. Gubynskiy M.V., Barsukov I. V., Fedorov S.S., Livitan M. V., Gogotsi O.G., Upendra S. Rohatgi Study of aerodynamic properties of continuous high temperature reactors // *Conference ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting*, Incline Village, NV, July 2013, 7 p.
  7. Simeyko K. Thermal influence of microdischarge plasma on the process of receiving of quartz sand encapsulated by pyrocarbon. *Proceedings of the National Aviation University*. 2014, (2), pp. 131–135. (Eng.)
  8. Pat. 86131 Ukraine, B 01 J 8/18 (2006.01), B 01 J 12/00. Reaktor dlja visokotemperaturnih procesiv [Reactor for high temperature processes] / V.O. Bogomolov O.P. Kozhan, B.I. Bondarenko, K.V. Simeyko; Applicant and patent holder: Gas institute of National academy of science of Ukraine. — № u201309320; applic. date: 25.07.2013; publ. date: 10.12.2013. — Bull № 23. (Ukr.)
  9. Chumak V.L. Ivanov S.V., Maksimjuk M.R. Osnovi naukovih doslidzhen' [Bases of scientific researches]. Kiev : Nacionalnyi aviacionnyi universitet, 2009, 304 p. (Ukr.)
  10. Bogomolov V.A. Issledovanie processa i razrabotka tehnologii piroliza prirodnogo gaza v dispersnyh sredah [Research of process and technology development of pyrolysis of natural gas in dispersion phases] : dissertation of the candidate of technical sciences. Kiev, 1982, 211 p. (Rus.)

Received February 17, 2015

УДК 621.184.4/.5

**Галянчук І.Р., Мисак Й.С.,** докт. техн. наук., проф.,  
**Кузнецова М.Я.,** канд. техн. наук

**Національний університет «Львівська політехніка»**  
вул. С. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна, e-mail: kuznetsovam83@gmail.com

## Визначення наслідків режимних змін повітропідігрівача котла ТП-100

Розглянуто основні проблеми, які виникають під час вирішення задачі оптимізації роботи теплотехнічного устаткування, коли в умовах експлуатації фактичний стан його істотно відрізняється від проектного. Застосовано метод режимних розрахунків, який дає змогу визначити наслідки внесених змін у теплопередавальну систему на основі відомих тільки вхідних та вихідних температур теплоносіїв у початковому режимі. Котел ТП-100 зображено у вигляді поєднання конвективних поверхонь нагріву (повітропідігрівач, економайзер, первинний пароперегрівач та проміжний пароперегрівач), які розглядаються як конвективна теплопередавальна система котла. Розроблено спеціальну структурну схему та відповідну математичну модель повітропідігрівача котла ТП-100 як системи взаємозв'язаних теплообмінників. Отримані результати можна використати як новий методичний апарат розрахунків повітропідігрівачів, а також як апарат для виявлення можливих удосконалень об'єкту. *Бібл. 7, рис. 3, табл. 2.*

**Ключові слова:** теплопередавальна система, поверхні нагріву, режимні розрахунки, температура теплоносіїв, повітропідігрівач.

Вирішення задачі оптимізації роботи тепло-технічного устаткування ТЕС, фактичний стан якого внаслідок тривалої експлуатації істотно відрізняється від проектного, є складною технологічною проблемою. Основні труднощі виникають через те, що в експлуатаційних умовах практично недоступною є потрібна для перевірочних розрахунків інформація про фактичний стан устаткування, його зношеність та забруднення поверхонь нагріву, стан нещільностей, втрати теплоносіїв у газоходах та ін.[1, 2].

Таким чином, для оптимізації та налагодження роботи теплотехнічного устаткування необхідно використовувати принципово інші методи режимних розрахунків та досліджень поверхонь нагріву котла: окремих теплообмінних вузлів та всієї їх сукупності у взаємодії. При цьому необхідно використовувати найбільш доступну в умовах роботи устаткування початкову інформацію: значення температури теплоносіїв в одному з відомих режимів роботи устаткування. Результатами таких розрахунків є залежності значень переданої між тепло-

носіями потужності та значень вихідних температур теплоносіїв від зміни вхідних температур, а також від відносної зміни поверхні теплопередачі та витрати теплоносіїв [3–5].

Для аналізу та дослідження роботи теплоенергетичних об'єктів зручним є використання технологічних схем, у яких елементи установок поділяють за конструктивними чи технологічними ознаками, однак ефективнішим є зображення енергоустановки у вигляді системи, елементи якої виділяються за термодинамічними ознаками: стиснення та розширення, генерування та поглинання тепла, розділення та змішування теплоносіїв, теплопередача, атмосфера. Вказаних восьми типів елементів достатньо, щоб зобразити довільну енергоустановку у вигляді термодинамічної системи. При цьому для зображення комплексу конвективних поверхонь нагріву котла достатнім є використання лише трьох типів елементів: конвективні теплообмінники (з шістьма варіантами схем руху теплоносіїв); дільники потоків теплоносіїв; змішувачі потоків теплоносіїв [6].

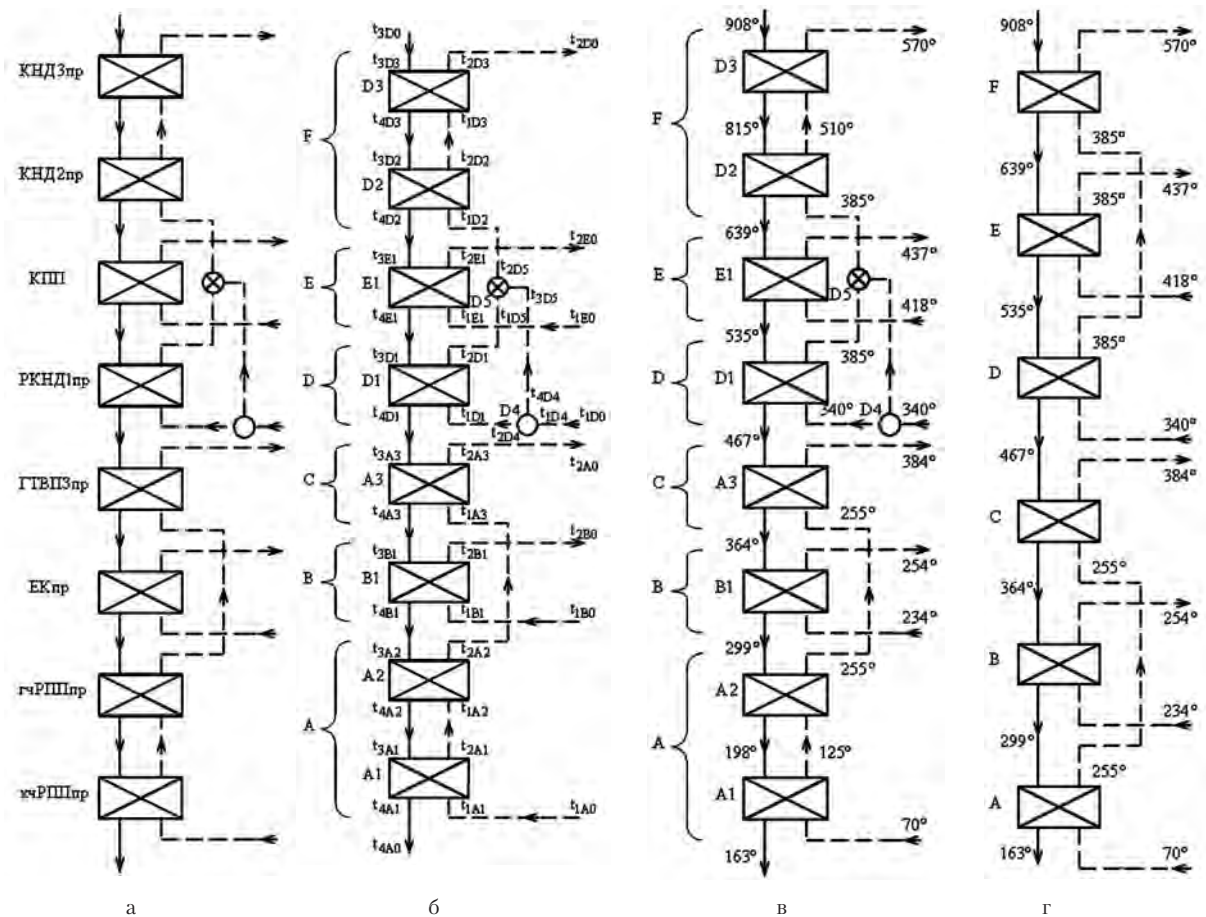


Рис.1. Структурна схема конвективної системи котла ТП-100: а – первинна інформація; б – позначення елементів, підсистем при моделюванні; в, г – значення температур при моделюванні.

Так, котел ТП-100 може бути представлений у вигляді поєднання конвективних поверхонь нагріву (повітропідігрівач, економайзер, первинний та проміжний пароперегрівачі), які розглядаються як конвективна теплопередавальна система котла (рис.1) та використовуються для розроблення схем моделі найбільш типових задач режимних досліджень котлів ТП-100.

Під час моделювання використовували систему позначень елементів та форми зображень схем теплопередавальної системи з нанесенням номерів елементів, як показано на рис.1, а, б, та позначень температур теплоносіїв — на рис.1, в, г.

Для розуміння системи позначень елементів теплопередавальної системи наведемо пояснення до схем.

1. Теплопередавальна система котла ТП-100 має шість підсистем:

- повітропідігрівач (A1, A2), який об'єднує два теплообмінники (РПП<sub>пр</sub>);
- економайзер (B1), який складається з одного теплообмінника (E<sub>кпр</sub>);
- повітропідігрівач (A3), який складається з одного теплообмінника (ГТВП<sub>зпр</sub>);
- проміжний пароперегрівач (D1), який складається з одного теплообмінника (РКНД<sub>1пр</sub>), один дільник та один змішувач потоків;
- первинний пароперегрівач (E1), який складається з одного теплообмінника (КПП);
- проміжний пароперегрівач (D2, D3) який об'єднує два теплообмінники (КНД<sub>пр</sub>).

Проміжний пароперегрівач включає також внутрішній потік — обвід пари — як режимний чинник.

2. Всі елементи пронумеровані в єдиній послідовності по всій системі. Індекс елемента складається з букви (індекс підсистеми) та цифри (номер елемента).

3. Індеси температур:

- перша цифра «1» та «2» — вхід та вихід теплоносія (елемента, підсистеми, системи), який нагрівається; «3» та «4» — вхід та вихід гріючого теплоносія (димових газів);
- друга цифра «0» — загальний вхід чи вихід системи;
- буква — індекс підсистеми;
- кінцева цифра — номер елемента.

4. Прийнято, що всі теплообмінники — протитечійні.

5. Прийнято, що в базовому режимі, для якого надана початкова інформація, обвід пари у проміжному пароперегрівачі відключений.

6. Прийнято, що у базовому режимі передана тепла потужність у теплообмінниках A1 та A2, D2 та D3 є однаковою.

7. Прийнято, що у межах кожної підсистеми питома теплоємність кожного теплоносія не змінюється.

8. Прийнято, що у каналах, які з'єднують елементи, температура теплоносія на вході та виході є однаковою.

Для проведення режимних розрахунків системи конвективних поверхонь нагріву діючих котлів, для яких після тривалої експлуатації змінюються умови теплопередачі та витрати теплоносіїв (забруднення поверхонь нагріву) необхідне розроблення нових методів розрахункових досліджень. Для ефективного застосування такі методи мають використовувати початкову інформацію, в якій замість важкодоступних параметрів теплопередачі та витрати теплоносіїв можна використати відносно доступні в експлуатаційних умовах значення вхідних та вихідних температур теплоносіїв; у конвективних теплообмінниках взаємозв'язки вхідних та вихідних температур теплоносіїв приймаються лінійними; процес розрахунків істотно уніфікується та спрощується при використанні узагальнених безрозмірних параметрів (інваріантів) [7].

Для розробленого методу режимних розрахунків діючих котлів характерні наведені нижче особливості.

1. Сукупність конвективних поверхонь нагріву котла розглядається як теплопередавальна система (ТПС). Основними елементами такої системи є одноходові конвективні теплообмінники з різними схемами руху теплоносіїв (протитечійні, прямиотечійні, чотири варіанти перехресного руху теплоносіїв), а також ідеальні дільники та змішувачі потоків теплоносіїв.

Підсистемами ТПС є групи взаємопов'язаних елементів, які забезпечують нагрів конкретного теплоносія (повітря, води, пари).

2. Умовою ідеалізації є те, що зміни температур теплоносіїв (у реальних межах) не впливають на значення витрати та теплоємності теплоносіїв, а також на площу та коефіцієнт теплопередачі стінки теплообмінників.

3. Прийнято такий поділ параметрів:

- режимні (температури теплоносіїв на вході, виході елементів, підсистем та системи);
- об'єктні — теплоємність потоку ( $G \cdot c$ ) та теплопередавальність стінки ( $k \cdot F$ ), де  $G, c$  — витрата теплоносія та його питома теплоємність;  $k, F$  — коефіцієнт теплопередачі та площа стінки теплообмінника.

4. Враховано, що у конвективних теплообмінниках існує лінійна залежність між вихідними та вхідними температурами теплоносіїв.

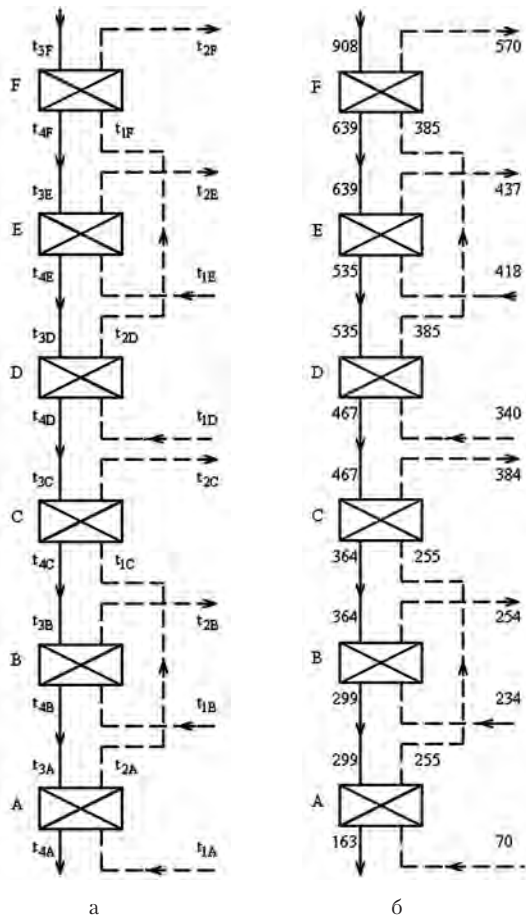


Рис.2. Базова схема теплопередавальної системи котла ТП-100: а – позначення елементів, підсистем при моделюванні; б – значення температур при моделюванні (цифрами вказані значення температури (°C) теплоносіїв у початковому режимі).

5. Застосовуються безрозмірні узагальнені параметри. Значення кожного з них може бути визначено на основі різних варіантів початкової інформації: відомих лише вхідних та вихідних температур; відомих тільки об'єктних (не температурних) параметрів. Це забезпечує компактність запису математичних моделей та графічного зображення режимних характеристик, а також уніфікацію форми запису математичних моделей елементів, підсистем та систем.

6. Застосовується за певних умов заміщення складних підсистем більш простими режимно-подібними підсистемами, чи навіть елементами.

7. Забезпечено проведення розрахунків прямими обчисленнями, без послідовних наближень.

8. Для проведення режимних розрахунків необхідна така початкова інформація:

- схема з'єднань підсистем у системі;
- схема з'єднань елементів у підсистемах;
- тип елементів;

– температури теплоносіїв на вході та виході системи;

– температури теплоносіїв на вході та виході елементів, у яких здійснюється режимна зміна об'єктних параметрів (для теплообмінників – додатково схема руху теплоносіїв).

Потреба визначення впливу всіх можливих конструктивних та режимних змін на показники роботи всіх елементів енергоустановки може розглядатися лише як крайній теоретичний випадок. Як правило, необхідними є дослідження впливу лише одного чи декількох факторів на окремі показники роботи установки. При цьому можливою є дуже велика кількість варіантів таких конкретних задач. Для конкретних умов та потреб формуються відповідна структурна схема та математична модель об'єкту.

У певних випадках існує потреба в достатньо універсальних схемах та моделях для вирішення групи задач.

Режимні розрахунки потрібні у таких випадках:

– для визначення взаємозв'язків змін температури теплоносіїв (наприклад, залежність зміни температури відхідних газів котла від температури холодного повітря);

– для дослідження впливу на об'єкт відносних змін витрати та теплоємності тепло-

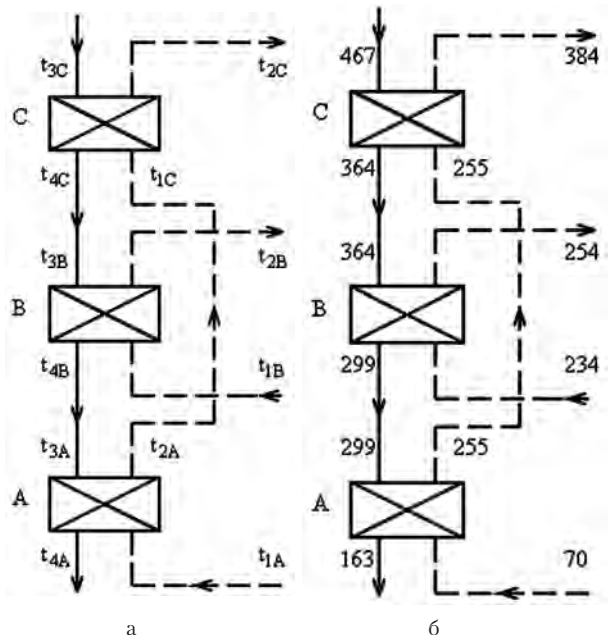


Рис.3. Базова схема повітропідігрівача котла ТП-100, її початкова система рівнянь та параметри: а – позначення елементів, підсистем при моделюванні; б – значення температур при моделюванні; А – повітропідігрівач РПП<sub>пр</sub>; В – економайзер ЕК<sub>пр</sub>; С – повітропідігрівач ГТВП<sub>зпр</sub> (цифрами вказані значення температури (°C) теплоносіїв у початковому режимі).

Таблиця 1. Формули режимних (об'єктних) коефіцієнтів

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

## Формування математичної моделі базової схеми повітропідігрівача:

$$t_{4C} = (1-W_{4C})t_{1C} + W_{4C}t_{3C} = (1-W_{4C})[(1-W_{2A})t_{1A} + W_{2A}[(1-W_{4B})t_{1B} + W_{4B}t_{4C}]] + W_{4C}t_{3C} = \\ = \frac{(1-W_{4C})(1-W_{2A})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1A} + \frac{W_{2A}(1-W_{4B})(1-W_{4C})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1B} + \frac{W_{4C}}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{3C} = t_{3B};$$

$$t_{2A} = (1-W_{2A})t_{1A} + W_{2A}t_{3A} = (1-W_{2A})t_{1A} + W_{2A}[(1-W_{4B})t_{1B} + W_{4B}t_{4C}] = \\ = \frac{1-W_{2A}}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1A} + \frac{W_{2A}(1-W_{4B})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1B} + \frac{W_{2A}W_{4B}W_{4C}}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{3C} = t_{1C};$$

$$t_{4A} = (1-W_{4A})t_{1A} + W_{4A}t_{3A} = (1-W_{4A})t_{1A} + W_{4A}[(1-W_{4B})t_{1B} + W_{4B}t_{4C}] = \\ = \frac{(1-W_{4A})+W_{4B}(1-W_{4C})(W_{4A}-W_{2A})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1A} + \frac{W_{4A}(1-W_{4B})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1B} + \frac{W_{4A}W_{4B}W_{4C}}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{3C};$$

$$t_{2B} = (1-W_{2B})t_{1B} + W_{2B}t_{3B} = (1-W_{2B})t_{1B} + W_{2B}t_{4C} = \\ = \frac{W_{2B}(1-W_{4C})(1-W_{2A})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1A} + \frac{(1-W_{2B})+W_{2A}(1-W_{4C})(W_{2B}-W_{4B})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1B} + \frac{W_{2B}W_{4C}}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{3C};$$

$$t_{4B} = (1-W_{4B})t_{1B} + W_{4B}t_{3B} = (1-W_{4B})t_{1B} + W_{4B}t_{4C} = \\ = \frac{W_{4B}(1-W_{4C})(1-W_{2A})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1A} + \frac{(1-W_{4B})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1B} + \frac{W_{4B}W_{4C}}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{3C} = t_{3A};$$

$$t_{2C} = (1-W_{2C})t_{1C} + W_{2C}t_{3C} = (1-W_{2C})t_{2A} + W_{2C}t_{3C} = \\ = \frac{(1-W_{2C})(1-W_{2A})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1A} + \frac{W_{2A}(1-W_{4B})(1-W_{2C})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{1B} + \frac{W_{2C}+W_{2A}W_{4B}(W_{4C}-W_{2C})}{1-W_{2A}W_{4B}(1-W_{4C})}t_{3C}.$$

носіїв чи площі та умов теплопередачі у поверхнях нагріву;

— для аналізу впливу обводів, рециркуляції, перетоків, присмоктів та витікань теплоносіїв;

— для побудови теплових чи температурних характеристик установок, їх підсистем та елементів;

— для визначення поправок до нормативних характеристик устаткування;

— для визначення чутливості до режимних змін;

— для діагностування причин відхилення показників роботи об'єкту від проектних чи очікуваних.

Початковою інформацією для розроблення схеми моделі для найбільш типових задач режимних досліджень та конкретних режимних розрахунків були значення температур середовищ (теплоносіїв) на вході та виході з поверхонь нагріву в котлах ТП-100 Бурштинської ТЕС.

Як відзначалось вище, теплопередавальна система котла ТП-100 має шість основних підсистем. Особливістю системи є те, що через кожну підсистему послідовно проходить один і той самий гріючий теплоносіїв (димові гази). Нагрівані теплоносії у всіх підсистемах є різними (повітря, вода, пара). Усі підсистеми є двопотічними (у кожній з них є по два входи та два виходи теплоносіїв).

Якщо режимна задача спрямована лише на визначення взаємозв'язків, взаємовпливу підсистем без аналізу внутрішніх змін у підсистемах, то кожна підсистема може бути замінена режимно-подібним теплообмінником. У такого теплообмінника значення вхідних та вихідних температур теплоносіїв мають бути такими, як на відповідних входах та виходах у підсистему.

У підсумку схема теплопередавальної системи котла набуває вигляду, який зображено на рис.2. Елементами системи є підсистеми А, В, С, D, Е, F.

Ця система є п'ятипотічною: з п'ятьма входами потоків та відповідно з п'ятьма їх виходами. Система розглядається як автономна: усі вхідні потоки є незалежними. Фактично зміни температури повітря, води та пари дещо впливають на температуру газів у паливні, яка, в свою чергу, впливає на температуру газів на вході у систему. Спеціальний аналіз показав, що цей вплив є слабким, тому у більшості практичних задач його можна не враховувати.

Інформація про стан підсистеми та зміни у ній передається іншим підсистемам тільки значеннями вихідних температур чи їх змінами.

З базової схеми (див. рис.2) видно, що зміни у повітропідігрівачі впливають тільки на його вихідні температури та на економайзер, але на пароперегрівач вони не впливають. Зміни в економайзері впливають на його вихідні температури та на температури у повітропідігрівачі, але на пароперегрівач вони не впливають. Зміни у пароперегрівачі впливають на всі підсистеми.

У даній роботі розроблено математичну модель схеми повітропідігрівача котла ТП-100. Розрахунки значень режимних коефіцієнтів для початкового стану наведені на рис.3 та у табл.1, 2.

**Таблиця 2. Значення  $K_{iN}$  при початкових значеннях об'єктних параметрів**

$t_{iN}$	$K_{iN1A}$	$K_{iN1B}$	$K_{iN1C}$	$\Sigma K_{iN}$
$t_{2C}$	0,0936	0,1968	0,7096	1,0
$t_{4C}$	0,1161	0,2442	0,6397	1,0
$t_{2B}$	0,0179	0,8837	0,0984	1,0
$t_{4B}$	0,0581	0,6221	0,3198	1,0
$t_{2A}$	0,2390	0,5026	0,2584	1,0
$t_{4A}$	0,6175	0,2526	0,1299	1,0

Рівняння елементів:

$$t_{2N} = (1 - W_{2N}) t_{1N} + W_{2N} t_{3N};$$

$$W_{2C} = (384 - 255) / (467 - 255) = 0,6085;$$

$$t_{4N} = (1 - W_{4N}) t_{1N} + W_{4N} t_{3N};$$

$$W_{4C} = (364 - 255) / (467 - 255) = 0,5142;$$

$$N \in \{A, B, C\}.$$

Рівняння з'єднань:

$$t_{3B} = t_{4C};$$

$$W_{2B} = (254 - 234) / (364 - 234) = 0,1538;$$

$$t_{3A} = t_{4B};$$

$$W_{4B} = (299 - 234) / (364 - 234) = 0,5000.$$

Узагальнені параметри елементів:

$$W_{2N} = (t_{2N} - t_{1N}) / (t_{3N} - t_{1N});$$

$$W_{2A} = (255 - 70) / (299 - 70) = 0,8079;$$

$$W_{4N} = (t_{4N} - t_{1N}) / (t_{3N} - t_{1N});$$

$$W_{4A} = (163 - 70) / (299 - 70) = 0,4061.$$

Узагальнений вид моделі:

$$t_{2N} = K_{2N1A} t_{1A} + K_{2N1B} t_{1B} + K_{2N3C} t_{3C};$$

$$t_{4N} = K_{4N1A} t_{1A} + K_{4N1B} t_{1B} + K_{4N3C} t_{3C};$$

$$K_{iN1A} + K_{iN1B} + K_{iN1C} = 1,0.$$

Взаємозв'язки температур у схемі повітропідігрівача при незмінних початкових значеннях об'єктних параметрів.

Загальний вид математичної моделі:

$$t_{iN} = K_{iN1A} t_{1A} + K_{iN1B} t_{1B} + K_{iN3C} t_{3C},$$

де  $K_{iN}$  – коефіцієнт, який охоплює виключно об'єктні параметри ТПС.

Для конкретного  $t_{iN}$  існує рівність  $\Sigma K_{iN} = 1,0$ , де  $N$  – символ елемента ТПС ( $N \in \{A, B, C\}$ ).

Взаємозв'язки температур:

$$t_{2C} = 0,0936 t_{1A} + 0,1968 t_{1B} + 0,7096 t_{3C};$$

$$t_{4C} = 0,1161 t_{1A} + 0,2442 t_{1B} + 0,6397 t_{3C};$$

$$t_{2B} = 0,0179 t_{1A} + 0,8837 t_{1B} + 0,0984 t_{3C};$$

$$t_{4B} = 0,0581 t_{1A} + 0,6221 t_{1B} + 0,3198 t_{3C};$$

$$t_{2A} = 0,2390 t_{1A} + 0,5026 t_{1B} + 0,2584 t_{3C};$$

$$t_{4A} = 0,6175 t_{1A} + 0,2526 t_{1B} + 0,1299 t_{3C}.$$

Взаємозв'язки змін температур:

$$\Delta t_{2C} = 0,0936 \Delta t_{1A} + 0,1968 \Delta t_{1B} + 0,7096 \Delta t_{3C};$$

... ..

$$\Delta t_{4A} = 0,6175 \Delta t_{1A} + 0,2526 \Delta t_{1B} + 0,1299 \Delta t_{3C}.$$

Для температури відхідних газів котла маємо:

$$t_{4A} = 0,6175 t_{1A} + 0,2526 t_{1B} + 0,1299 t_{3C};$$

$$\Delta t_{4A} = 0,6175 \Delta t_{1A} + 0,2526 \Delta t_{1B} + 0,1299 \Delta t_{3C}.$$

Тобто при підвищенні 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 на 10 °С зросте температура димових газів на вході у повітропідігрівач, то температура відхідних газів збільшиться на 0,8 °С.

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

### Висновки

Під час вирішення задачі оптимізації роботи теплотехнічного устаткування, коли в умовах експлуатації недоступною є інформація про фактичний стан устаткування, необхідно використовувати найбільш доступну в умовах роботи устаткування початкову інформацію (значення

температури теплоносіїв у відомому режимі роботи устаткування).

На основі методу режимних розрахунків розроблено математичну модель для визначення наслідків режимних змін повітропідігрівника котла ТП-100.

Розроблена математична модель може бути ефективно використана для режимних розрахунків поверхонь нагріву діючих котлів на основі відомих лише температур теплоносіїв в одному з режимів роботи устаткування, при цьому витрата теплоносіїв, площа та стан поверхонь нагріву можуть бути невідомими.

### Список літератури

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача : Учеб. для вузов. — М. : Энергоиздат, 1981. — 416 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. Н.В.Кузнецова. — М. : Энергия, 1978. — 296 с.
3. Чабан О.Й. Анализ ненормальных режимов конвективных ступеней котлов // Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС. — М. : Энергия, 1970. — Вып. 39. — С. 133–145.
4. Чабан О.Й., Крук М.Т. Наладочные расчеты режимов теплоэнергетического оборудования энергоблоков // Энергетика и электрификация. Сер. Эксплуатация и ремонт электростанций : Экспресс-информ. — М. : Информэнерго, 1979. — Вып. 12. — С. 5–41.
5. Чабан О.И., Остап'юк Р.В., Шашкив М.Г. Взаимосвязь температур в сложных теплообменных установках // Машиностроение. — 1975. — № 4. — С. 28–30.
6. Чабан О.Й., Галанчук І.Р. Моделі і розрахунки елементарних конвективних теплообмінників // Вісник ДУ «Львівська політехніка». Сер. Теплоенергетика. Інженерія докільля. Автоматизація. — 1999. — № 365. — С. 32–40.
7. Галанчук І.Р., Кузнецова М.Я. Математичні моделі теплопередавальної системи для дво- та триходового теплообмінників // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 2/8 (62). — С. 29–32.

Надійшла до редакції 06.11.14

**Галянчук И.Р., Мысак Й.С.,** докт. техн. наук., проф.,  
**Кузнецова М.Я.,** канд. техн. наук

**Национальный университет «Львовская политехника»**  
ул. С. Бандеры, 12, 79013 Львов, Украина, e-mail: kuznetsovam83@gmail.com

## **Определение последствий режимных изменений воздухоподогревателя котла ТП-100**

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при решении задачи оптимизации работы теплотехнического оборудования, когда в условиях эксплуатации фактическое состояние его существенно отличается от проектного. Применен метод режимных расчетов, позволяющий определить последствия внесенных изменений в теплопередающую систему на основе известных только входных и выходных температур теплоносителей в начальном режиме. Котел ТП-100 изображен в виде сочетания конвективных поверхностей нагрева (воздухоподогреватель, экономайзер, первичный пароперегреватель и промежуточный пароперегреватель), которые рассматриваются как конвективная теплопередающая система котла. Разработаны специальная структурная схема и соответствующая математическая модель воздухоподогревателя котла ТП-100 в виде системы взаимосвязанных теплообменников. Полученные результаты можно использовать как новый методический аппарат расчетов воздухоподогревателя, а также аппарат для выявления возможных усовершенствований объекта. *Библ. 7, рис. 3, табл. 2.*

**Ключевые слова:** теплопередающая система, поверхности нагрева, режимные расчеты, температура теплоносителей, воздухоподогреватель.

**Galyanchuk I.R., Mysak J.S.,** Doctor of Technical Sciences, Professor,  
**Kuznetsova M.Ja.,** Candidate of Technical Sciences

**Lviv Polytechnic National University**  
12, S. Bandera Str., 79013 Lviv, Ukraine, e-mail: kuznetsovam83@gmail.com

## **Determination of Consequences Regime Shifts of Boiler's TP-100 Air Heater**

The main difficulties arising when solving thermotechnical equipment optimization problem, when actual equipment status under operation conditions considerably differs from the design status, are considered. Mode calculation method allowing to determine the consequences of the changes made in heat-transfer system based on known inlet and outlet temperatures of heat carriers in the initial mode is used. Boiler TP-100 is represented as a combination of convective heating surfaces (air heater, economizer, primary steam superheater and intermediate steam superheater), which is considered as a convective heat-transfer system of the boiler. Special structure chart and corresponding mathematical model of air heater of boiler TP-100 as a system of interconnected heat exchangers have been developed. The obtained results may be used as a new methodology of air heaters calculation, as well as a tool for detection of possible improvements of the object. *Bibl. 7, Fig. 3, Table 2.*

**Key words:** heat-transfer system, heating surfaces, mode calculations, heat carriers temperature, air heater.



## References

1. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Heat transfer. Moscow : Energoizdat, 1981, 416 p. (Rus.)
2. Thermal design of steam generating units (Normative method). Pod red. N.V.Kuzn'etsova. Moscow : Energiya, 1978, 296 p. (Rus.)
3. Chaban O.J. Analysis of non-nominal modes of convective stages of boilers. *Naladochmye i eksperimental'nyye raboty ORGRJeS*, 1970, iss. 39, pp.133–145. (Rus.)
4. Chaban O.J., Kruk M.T. Adjustment design of modes of heat-and-power equipment of power-generating units. *Energetika i elektrifikaciya. Seriya Ekspluatatsiya i remont elektrostanciy, ekspres-informaciya*, 1979, iss.12, pp. 5–41. (Rus.)
5. Chaban O.I., Ostap'yuk R.V., Stashkiv M.G. Relationship of temperatures in complex heat exchange systems. *Mashinostroyeniye*, 1975, (4), pp. 28–30. (Rus.)
6. Chaban O.J., Galyanchuk I.R. Models and design of elementary convective heat exchangers. *Visnik DU «L'viv's'ka politekhnika». Seriya Teploenergetyka. Inzheneriya dovkill'a. Avtomatyzatsiya*, 1999, (365), pp. 32–40. (Ukr.)
7. Galyanchuk I.R., Kuzn'etsova M.Ja. Mathematical models of heat-transfer system for double- and triple-pass heat exchangers. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, 2013, 2/8 (62), pp. 29–32. (Ukr.)

Received November 6, 2014

## Оргкомитет информирует Вас, что совместные VIII Международный симпозиум «ГОРЕНИЕ И ПЛАЗМОХИМИЯ» и Международная научно-техническая конференция «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ-2015»

будут проведены 16–18 сентября 2015 г. в Алматы, Казахстан

### НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Теория горения. Структура пламени.</li> <li>2 Кинетика и механизм химических реакций</li> <li>3 Наноматериалы и нанотехнология</li> <li>4 Турбулентное горение</li> <li>5 Моделирование химических процессов</li> <li>6 Плазмохимия, фундаментальные и прикладные аспекты</li> <li>7 Образование сажи и фуллеренов в процессах горения</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>8 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез</li> <li>9 Термические процессы при переработке нефти и газа</li> <li>10 Эффективность использования традиционных топливно-энергетических ресурсов</li> <li>11 Альтернативные топлива и возобновляемые источники энергии</li> <li>12 Низкотемпературная плазма в проблеме повышения энергетической эффективности</li> <li>13 Общие проблемы энергоэффективности, экология и экономика</li> </ol> |
|--|---|

Программа Симпозиума включает пленарные, устные и стендовые доклады.

Рабочие языки конференции — русский, английский.

Регламент выступления участников: доклад на пленарном заседании 20–25 минут, устные доклады — 10–15 минут.

### ОФОРМЛЕНИЕ ДОКЛАДОВ

Регистрационная форма и название доклада принимаются оргкомитетом **до 1 мая 2015 г.** по e-mail: [sestager@mail.ru](mailto:sestager@mail.ru)

Оргкомитет планирует публикацию материалов. Электронный вариант доклада должен быть представлен в формате Word для Windows, шрифт: Times New Roman, 12 пт. Текст объемом не более 3 страниц в формате А4 печатается через 1 интервал без нумерации страниц с полями 2 см. Таблицы, схемы, рисунки должны иметь название. Абзацный отступ 1 см. Название доклада печатать жирным шрифтом ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ, далее через один интервал — жирным шрифтом строчными буквами: Инициалы и Фамилия автора (ов) и полное название учреждения, адрес, e-mail. Еще через один интервал — краткая аннотация (не более трех строк). Ниже через один интервал — непосредственно материал доклада. В конце список литературы в соответствии с порядком упоминания работ в тексте. Ниже через интервал — аннотация на английском языке.

Оргкомитет принимает тезисы докладов **до 1 июля 2015 г.**

По окончании Симпозиума оргкомитет предполагает опубликовать расширенные доклады (объемом не более 20 страниц) участников Симпозиума в международных журналах «Eurasian Chemico-Technological Journal» и «Горение и плазмохимия» (Казахстан) и «Энерготехнологии и ресурсосбережение» (Украина).

**Организационный взнос** участников стран СНГ составляет 200 долл. США, из стран дальнего зарубежья — 300 долл. Оргвзносы можно оплачивать наличными по приезду на Симпозиум.

#### Важные даты:

1 мая 2015 г. — регистрационная форма и бронирование гостиницы

1 июля 2015 г. — представление тезисов докладов

**Контактный адрес:** РГП «Институт Проблем Горения» МОН РК, Республика Казахстан, г. Алматы, 050012, ул. Богенбай батыра 172, Тел. +7(727) 2924346, Факс : +7(727) 2925811.

**Контактные лица:** проф. С.Х. Акназаров — зам. председателя, Танирбергенова С. — секретарь оргкомитета, Тел. +7(727) 2923565, e-mail: [sestager@mail.ru](mailto:sestager@mail.ru)