



О. Г. Юрасова

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ ТЕХНІЧНОГО ПЕРЕОСНАЩЕННЯ КОТЛОАГРЕГАТУ ТРИПІЛЬСЬКОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Здійснено аналіз варіантів, зокрема з урахуванням досвіду технічного переоснащення енергоблоку ст. № 4, виконано передпроектні розрахунки технологічних схем для системи приготування пилу, подачі пилу в котел та спалювання в котлі ТПП-210А блоку ст. № 3 Трипільської ТЕС вугілля марок Г та ДГ з максимальним збереженням компоновки наявного обладнання за різних навантажень, пусків і зупинів, оцінено досяжний діапазон потужності блоку під час роботи на вугіллі марок Г та ДГ та обґрунтовано сукупність технічних рішень для переведення котла ст. № 3 на газове вугілля. Виконано позонний тепловий розрахунок топки за визначеними варіантами за різних навантажень. Проведено розрахункову оцінку діапазону навантаження для забезпечення умов РШВ, запобігання шлакуванню ширм та збереження наявних температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля різної якості. Виконано повіркові теплові розрахунки котла ТПП-210А ст. № 3 згідно з Нормативним методом з використанням довідкових даних для визначення можливості несення котлом номінального та часткових навантажень. Загалом було виконано 9 варіантів розрахунків (на антрациті з калорійністю 5500 ккал/кг на номінальному навантаженні – для верифікації застосованого методу та вихідних даних щодо котла; на двох розрахункових паливах на навантаженнях 100, 90, 80 та 70 % від номінального). Для розрахунку використовували фактичні значення присмоктів у топку, елементи конвективної шахти та РПП. Підтверджено можливість та доцільність реалізації схеми зі скиданням відпрацьованого сушильного агенту до скидних пальників як витратно-швидкісними розрахунками пилосистем і пальників, так і повірковими позонними розрахунками топки для обох видів розрахункового вугілля на навантаженнях від 100 до 70 % від номінального. Показано, що температура газів та питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні у всіх зонах топки під час спалювання газового вугілля не перевищують ті, що реалізуються під час спалювання антрациту, що свідчить про непогіршення наявних (як під час спалювання антрациту) температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля у всіх зонах топки.

Ключові слова: антрацит; газове вугілля; пилоподібне спалювання; пило-приготування; тепловий розрахунок.

Вступ. Згідно з Указом Президента України № 37/2017 "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16 лютого 2017 року "Про невідкладні заходи з нейтралізації загроз енергетичній безпеці України та посилення захисту критичної інфраструктури", на виконання графіку ремонту основного обладнання теплових електростанцій (Додаток № 2 до наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 622 від 25.09.2017 р. "Про підготовку обладнання електростанцій і теплових мереж до надійної та ефективної роботи у 2018 р. та осінньо-зимовий період 2018/2019 року"), і враховуючи позитивний досвід технічного переоснащення енергоблоку ст. № 4 Трипільської ТЕС з переведенням на спалювання вітчизняного газового вугілля, виникла потреба в розробленні проектної документації та виконанні заходів з переведення пилувугільного енергоблоку 300 МВт ст. № 3 Трипільської ТЕС на використання газового вугілля.

Тому робота полягає в проведенні аналізу можливих варіантів, зокрема з урахуванням досвіду технічного переоснащення енергоблоку ст. № 4, передпроектному виконанні розрахунків технологічних схем для системи

приготування пилу, подачі пилу в котел та спалюванні в котлі ТПП-210А блоку ст. № 3 Трипільської ТЕС вугілля марок Г та ДГ з максимальним збереженням компоновки наявного обладнання за різних навантажень, пусків і зупинів, оцінці досяжного діапазону потужності блоку під час роботи на вугіллі марок Г та ДГ та обґрунтуванні сукупності технічних рішень для переведення котла ст. № 3 на газове вугілля.

Об'єкт дослідження – котлоагрегат ТПП-210А і допоміжне обладнання блоку № 3 Трипільської ТЕС ПАТ "Центренерго".

Предмет дослідження – методи і засоби, які сукупно дадуть змогу розробити та обґрунтувати технічне рішення для переведення котла ТПП-210А ст. № 3 Трипільської ТЕС на газове вугілля.

Мета роботи – розроблення методики виконання витратно-теплових розрахунків для систем приготування пилу, подачі пилу в котел та спалювання в котлі ТПП-210А вугілля газової групи для визначення основних технічних рішень з переведення котла ст. № 3 на спалювання вугілля газової групи. Для її виконання в роботі потрібно вирішити такі *основні завдання*:

Інформація про автора:

Юрасова Оксана Георгіївна, ст. викладач, кафедра теплоенергетики, теплових і атомних електричних станцій.

Email: oksjanichyk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9930-9152>

Цитування за ДСТУ: Юрасова О. Г. Обґрунтування рішень технічного переоснащення котлоагрегату Трипільської теплоелектростанції. Науковий вісник НЛТУ України. 2020, т. 30, № 2. С. 99–106.

Citation APA: Yurasova, O. H. (2020). Justification of technical re-overhaul solutions of Tripil's heating power plant. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(2), 99–106. <https://doi.org/10.36930/40300218>

- аналіз стану наявного обладнання, можливого для використання у переведенні пилосистем на приготування пилу з вугілля газової групи;
- аналіз роботи пилосистем котлоагрегату ст. № 4 після переоснащення та ефективності застосованих технічних рішень та аналіз роботи системи ПВКр та пальників котлоагрегату ст. № 4 після переоснащення та ефективності застосованих технічних рішень;
- виконання повіркового теплового розрахунку котла з урахуванням змін у роботі котлоагрегату ст. № 4 після переведення на газове вугілля;
- виконання позонного теплового розрахунку топки за визначеними варіантами за різних навантажень.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в тому, що вперше подано результати передпроектного виконання розрахунків та аналізу варіантів технологічних схем для системи приготування пилу, подачі пилу в котел та спалювання в котлі ТПП-210А блоку № 3 Трипільської ТЕС вугілля марок Г та ДГ з максимальним збереженням компоновки наявного обладнання за різних навантажень, пусків і зупинів, а також виконання оцінки досяжного діапазону потужності блоку під час роботи на вугіллі марки Г та на вугіллі марки ДГ.

Виконано позонний тепловий розрахунок топки за визначеними варіантами за різних навантажень. Проведено розрахункову оцінку діапазону навантаження для забезпечення умов РШВ, запобігання шлакуванню ширм та збереження наявних температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля різної якості.

Відповідність результатів розрахунків зі АШ до фактичних показників котла свідчить про правомірність методу розрахунку та вихідних даних.

Практична значущість отриманих результатів зводиться до можливості спалювання в котлі ТПП-210А газового вугілля за умови збереження його основних характеристик і збільшення ККД на 3-4 % завдяки зменшенню механічного недопау.

Підтверджено можливість та доцільність реалізації схеми зі скиданням відпрацьованого сушильного агенту до скидних пальників як витратно-швидкісними розрахунками пилосистем і пальників, так і повірковими позонними розрахунками топки для обох видів розрахункового вугілля на навантаженнях від 100 до 70 % від номінального.

Показано, що температура газів та питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні у всіх зонах топки під час спалювання газового вугілля не перевищують ті, що реалізуються під час спалювання антрациту, що свідчить про непогіршення наявних (як під час спалювання антрациту) температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля у всіх зонах топки.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. У 2017 р. через припинення постачання донецького антрациту [1, 2] та згідно з Указом Президента України № 37/2017 було прийняте рішення про переведення котлоагрегату ст. № 4 Трипільської ТЕС на спалювання вугілля газової групи. У межах цієї роботи ІВЕ НАН України виконував передпроектний аналіз варіантів та розрахункове обґрунтування технічних рішень.

Основні технічні рішення для технічного переоснащення котлоагрегату ст. № 4, обґрунтовані ІВЕ НАН України, полягали в такому (порівняно з рішеннями, застосованими для котлів ст. № 2, 5 Зміївської ТЕС) [3, 4]:

- кількість пилосистем скорочено від 3 до 2 (від 1 на 100 МВт встановленої потужності до 1 на 150 МВт потужності, або 1 на корпус);
- обґрунтовано використання двох наявних вентиляторів гарячого дуття (ВГД) в ролі димосмоків рециркуляції димових газів (ДРГ) для забезпечення газового сушіння;
- замість чотирьох виносних циклонів для очищення відібраних димових газів запропоновано встановлення двох компактних золоконцентраторів у наявному газоході;
- замість потоку інертних газів з температурою 130-170 °С від димосмоку інертних газів (ДІГ) для охолодження при пуску, плановому або аварійному зупині млина обґрунтовано використання двох вприскувальних газоохолоджувачів для охолодження потоку газу від ДРГ;
- замість заміни млинових вентиляторів (МВ) на потужніші обґрунтовано можливість збереження наявних МВ за рахунок організації транспорту пилу високої концентрації під розрідженням (ПВКр) з оснащенням бункеру пилу лопатевими пиложивильниками для унеможливлення фільтрації повітря до бункера через пилові тічки;
- замість заміни пальників обґрунтовано можливість збереження наявних пальників з їх модернізацією та переведенням у прямоотоково-вихровий режим. (Прийнято варіант з подачею відпрацьованого сушильного агенту замість скидних пальників до каналів первинного повітря крайніх основних пальників. В решту каналів, а для середніх основних пальників – і в канал первинного повітря, подається гаряче повітря. Вугільний пил подається паровими ежекторами ПВКр до прямооточного центрального каналу всіх пальників. При цьому геометричні розміри пальників не змінюються, окрім скорочення торців каналів центрального та первинного повітря на 0,2-0,3 зовнішнього діаметра пальника, тобто на 0,3-0,4 м).

Схему пальника з ПВКр після реконструкції наведено на рис. 1. Усі перераховані технічні рішення було впроваджено під час технічного переоснащення. Унаслідок енергоблок ст. № 4 було успішно запущено і введено в експлуатацію на газовому вугіллі, на цей час відпрацював понад 3 місяці як у двокорпусному режимі, так і кожним корпусом окремо.

За період експлуатації котлоагрегату з'ясовано:

- сушильна та розмельна продуктивність пилосистем на газовому вугіллі відповідала розрахунковій, система ПВКр працювала стабільно, випадків неконтрольованого зростання температури та "хлопків" в елементах пилосистеми не зареєстровано;
- золоконцентратори показали достатню ефективність зололовлювання, ерозії лопаток ВГД не помічено;
- довжина факелу виявилась коротшою за факел антрацитовий і такою, що забезпечує стабільне займання пилу в широкому діапазоні якості та навантаження котла, але достатньо великою для запобігання обгорянню кінцевих елементів пальника, пульсація подачі пилу не заважала роботі котла, випадків сепарації пилу на під не зареєстровано;
- температурні режими спалювання відповідали розрахунковим, витік рідкого шлаку був вільним у всьому діапазоні регулювання навантаження, достовірних випадків шлакування ширм внаслідок затягування факелу вгору під час спалювання газового вугілля не зареєстровано, порушень екранних стінок внаслідок їх перегріву не відбувалось;
- котлоагрегат в ході експлуатації та гарантійних випробувань досягав паропроductивності 950-980 т/год, при цьому електрична потужність блоку сягала 270-280 МВт (зменшення потужності від проектної пов'язане зі згаданим вище зниженням параметрів свіжої та вторинної пари, старінням та спрацюванням турбіни і генератора, з недостатньою продуктивністю димосмоків за наявного рівня присмоктів до конвективної шахти та РВП);
- техніко-економічні показники спалювання відповідали характерним для пиловугільних котлоагрегатів на газовому вугіллі.

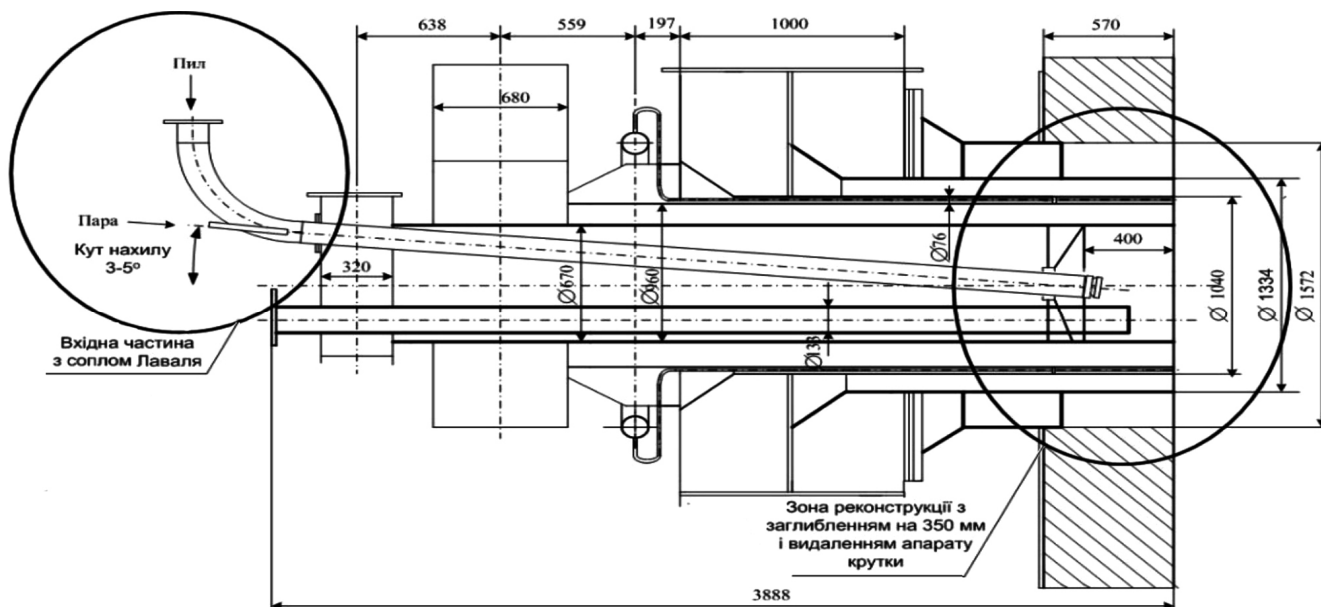


Рис. 1. Схема адаптації наявного пальника котла ТПП-210А ст. № 4 для використання газового вугілля

Водночас, у ході експлуатації виявлено певні складнощі, які поступово вирішуються пусконаладжуванням котла, але які варто врахувати під час розроблення технічних рішень з переведення на газове вугілля котлоагрегату ст. № 3.

1. Характеристики димових газів у перерізі відбору на корпусі А виявились такими, що відповідають розрахунковим. На корпусі Б внаслідок локального присмокту холодного повітря до конвективної шахти вище перерізу відбору в самому перерізі відзначено настільки істотний градієнт вмісту кисню та температури, що вміст кисню у відібраних димових газах перевищував 10 %, а їх температура була на 100-120 °С нижчою за розрахункову. Цю проблему вирішено завдяки встановленню відбійного "крила" над перерізом відбору з боку згаданого присмокту. Відповідно, для котла ст. № 3 пропонуємо відбір димових газів не з пристінної зони, а інтегрально з потоку в розрахунковому перерізі відбору (за ВЕ). Потрібно також під час проектування розглянути приведення тракту всмоктування та видачі ВГД до зменшення аеродинамічного опору, з оптимізацією конфігурації газоходів, видаленням місцевих опорів, незадіяних шиберів тощо.
2. Продуктивність ВГД виявилась меншою за розрахунок, ймовірно, за рахунок додаткового перепаду тиску на ділянці газоходу видачі. Унаслідок цього розрідження на вході до млина при закритих присадках повітря часом перевищувало 100 мм вод. ст. Для уникнення надлишкового розрідження на вході до млина на пилосистемах котла ст. № 4 відкривають присадки гарячого та холодного повітря, що передбачено проектом, але спричиняє ризик перевищення вмісту кисню в сушильному агенті понад 16 %. З урахуванням цього, для котла ст. № 3 розглядаємо збільшення продуктивності ВГД в межах наявного резерву потужності приводу, або заміну ВГД на більш продуктивний.
3. Після тривалого налагодження, пов'язаного з підбором оптимального тиску води на вході впорскувальних охолоджувачів залежно від температури відібраних димових газів, система довела свою працездатність і ефективність для підтримання безпечної температури сушильного агента в режимах вихолощування млинів. Водночас, унаслідок неповного випаровування впорскуної води та/або температурної нерівномірності потоку досі спостерігається викид вловленого конденсату з охолоджувачів. З огляду на це, а також для забезпечення додаткового засобу контролювання температури аеросуміші при розмілі сухого рядового вугілля, станція пропонує додаткове оснащення пилосистемою котла ст. № 3 димосмоком інертних газів (ДИГ), із застосуванням впорскувальних охолоджувачів переважно для аварійного впорскування згідно з вимогою РД 34.03.352-89 [5].
4. Варіант з подачею відпрацьованого сушильного агента замість скидних пальників до каналів первинного повітря крайніх основних пальників, з подачею гарячого повітря в решту каналів, а для середніх основних пальників – і в канал первинного повітря, а вугільного пилу – паровими ежекторами ПВКр до прямооточного центрального каналу всіх пальників, довів свою працездатність та ефективність, зокрема, за швидкостями газів у каналах пальників для формування факелу оптимальної довжини та за повнотою вигорання пилу. Водночас, такий варіант виявився досить складним у налагодженні та поточному регулюванні. По-перше, за рахунок наявності 10-15 % пилу в скидному сушильному агенті, за однакових продуктивностей всіх пиложивильників на середні пальники надходить в середньому на 13 % менше пилу, ніж на крайні; запобігти цьому можна або роздільним регулюванням продуктивності пиложивильників, або регулюванням лопатевих зазорів. По-друге, при прийнятій схемі регулювання витрати повітря по регістрах основних пальників витрата сушильного агента в канал первинного повітря крайніх пальників при зміні навантаження залишається незмінною, а витрата гарячого повітря в канал первинного повітря середніх пальників змінюється залежно від навантаження котла, що призводить до необхідності роздільного регулювання розподілу повітря по регістрах для різних пальників. З огляду на це, щодо котлоагрегату ст. № 3 станція запропонувала розглянути питання про можливість скиду відпрацьованого сушильного агента на наявні скидні пальники.
5. Для схеми пилосистеми, яку було запропоновано і реалізовано на котлі ст. № 4, рекомендували використання вугілля із вмістом вологи понад 8 %, що дало змогу спростити схему за рахунок відмови від рециркуляції сушильного агента з виходу МВ на вхід до млина. Серед запропонованого до поставок на Трипільську ТЕС газового вугілля є рядове львівсько-волинське вугілля

із вмістом вологи менше ніж 6 %, що змушує для пило-систем котла ст. № 3 повернутись до розгляду питання про рециркуляцію сушильного агента.

6. У процесі пусконаладження виявилось, що регулювання тонини помелу шляхом регулювання положення стулок сепаратора неможливе (при повністю відкритих стулках тонина помелу не стає грубіша, ніж 19 % залишку на ситі R_{90} , при тому, що нормами рекомендується $R_{90} \geq 20-24\%$). Для подальшого регулювання тонини помелу передбачається вкорочення внутрішньої насадки сепаратора на величину від 1/3 до 2/3 від її наявної довжини.

Окрім цього, персонал ТЕС інформує про істотно збільшений вихід шлаку під час експлуатації котла ст. № 4 на газовому вугіллі. З урахуванням того, що порівняно з антрацитом зольність газового вугілля зросла незначно, це свідчить про збільшення частки золи, що виходить зі шлаком $a_{шл}$, і корелює з даними ГКД 34.09.103-96 [6], для напіввідкритих топок (антрацит $a_{шл} = 0,15$, газове вугілля $a_{шл} = 0,2-0,3$). Цю інформацію слід врахувати при повірочному позонному тепловому розрахунку топки та під час формування переліку додаткового обладнання.

Основні характеристики запропонованого вугілля зведено в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики запропонованого вугілля та розрахункової вугільної суміші

Характеристика	ДГР серт. № 22	Г(Г2)Р серт. № 186	ДГ 0-100 серт. № 204	Суміш 40+60*
$W_f^r, \%$	4,8	6,5	15,1	11,66
$W_f^d, \%$	4,25	1,93	4,77	3,6
$A^d, \%$	29,5	27,8	20,6	21,74
$V^{daf}, \%$	39,9	37,5	42,3	39,5
$S_f^d, \%$	1,4	2,0	1,25	1,47
$Q_f^r, \text{ккал/кг}$	4934	5212	5178	5195
$C^{daf}, \%$	82,18	82,15	86,27	56,27
$H^{daf}, \%$	5,72	5,95	4,32	3,43
$O^{daf}, \%$	10,18	8,41	7,22	5,22
$N^{daf}, \%$	1,60	1,60	1,60	1,07
$S^{daf}, \%$	0,32	1,89	0,59	-
$A^r, \%$	28,08	25,99	17,49	20,89
$C^r, \%$	54,23	54,96	57,58	56,53
$H^r, \%$	3,77	3,98	2,88	3,32
$O^r, \%$	6,72	5,63	4,82	5,14
$N^r, \%$	1,06	1,07	1,07	1,07
$S^r, \%$	1,33	1,87	1,06	1,38
$t_{As}, ^\circ\text{C}$	> 1400	1210	1270	1240
$t_{Cs}, ^\circ\text{C}$	> 1400	1290	1360	1330
HGI	62	68	56	62

Примітка: Суміш 40+60* – суміш 40 % Г(Г2)Р серт. № 186 + 60 % ДГ 0-100 серт. № 204

Табл. 2. Основні результати повіркових теплових розрахунків котла ТПП-210А ст. № 3 при переході на спалювання газового вугілля

Паливо	АШ		ДГР серт. № 22			Суміш 40+60*			
Навантаження котла (2 корпуси), Гкал/год	590	590	530	474	417	590	530	474	417
Повна витрата палива, кг/с	15,77	18,47	16,71	15,09	13,39	17,48	15,81	14,29	12,67
Питома витрата димових газів, $\text{м}^3/\text{кг}$	10,830	9,379	9,379	9,379	9,379	9,649	9,649	9,649	9,649
Витрата димових газів, $\text{м}^3/\text{с}$	170,8	173,2	156,7	141,6	125,6	168,6	152,6	137,9	122,3
Температура відхідних газів, $^\circ\text{C}$	160	165	165	165	165	165	165	165	165
Витрата відхідних газів, тис. $\text{м}^3/\text{год}$	975	1041	942	851	755	1014	917	829	735

Варто зазначити, що зменшення номінальної теплотворності котла не супроводжується зменшенням номінальної паропроductивності внаслідок згаданого вище директивного пониження параметрів свіжої та вторинної пари.

Для вибору розрахункового палива запропоновано:

- рядове вугілля ДГР 0-200 мм ш. Нововолинська № 9 ДП "Волинськвугілля" (сертифікат № 22);
- рядове вугілля Г (Г2) Р 0-200 мм ш. "Степова" ДП "Львіввугілля" (сертифікат № 186);
- концентрат ДГ 0-100 мм ЦЗФ "Павлоградська" ПАТ "ДТЕК Павлоградвугілля" (сертифікат № 204).

Попереднє оцінювання показало, що вугілля за сертифікатом № 186 не відповідає чинному дозволу щодо викидів діоксиду сірки. Вугілля за сертифікатом № 204 відповідає дозволу щодо діоксиду сірки із запасом, але його волога перевищує сушильну продуктивність млинів. Тому в ролі першого розрахункового палива було прийнято вугілля за сертифікатом № 22, а другого – суміш 40 % вугілля за сертифікатом № 186 і 60 % вугілля – за сертифікатом № 204 (див. дані табл. 1).

Результати дослідження

Результати повіркових розрахунків котла ТПП-210А та топкової камери під час спалювання газового вугілля. Повіркові теплові розрахунки котла ТПП-210А ст. № 3 виконували згідно з Нормативним методом [7, 8] з використанням довідкових даних [9] для визначення можливості несення котлом номінального та часткових навантажень. Загалом було виконано 9 варіантів розрахунків:

- на антрациті з калорійністю 5500 ккал/кг на номінальному навантаженні – для верифікації застосованого методу та вихідних даних по котлу;
- на двох розрахункових паливах на навантаженнях 100, 90, 80 та 70 % від номінального.

Для розрахунку використовували фактичні значення присмоктів у топку, елементи конвективної шахти та РПП. У табл. 2 подано основні результати, які свідчать про таке:

- відповідність результатів розрахунків по АШ до фактичних показників котла свідчить про правомірність методу розрахунку та вихідних даних;
- результати свідчать про можливість спалювання в котлі ТПП-210А газового вугілля за збереження основних характеристик та збільшення ККД на 3-4 % завдяки зменшенню механічного недопалу;
- за продуктивності димосмоку ДО-31,5 900 тис. $\text{м}^3/\text{год}$. наявне обмеження корпусу щодо номінального навантаження. Це обмеження фактично не впливає на роботу котла на АШ, оскільки збігається з обмеженням щодо сушильної продуктивності пилосистем. Під час роботи на газовому вугіллі обмеження щодо сушильної продуктивності млинів не очікуються, проте внаслідок збільшення питомої витрати відхідних газів варто очікувати обмеження номінальної теплотворності котла на 8-10 % внаслідок обмеження тяги за наявного рівня присмоктів до котла.

Метод і результати повіркових позонних розрахунків топки за різних навантажень. Витратно-швидкісні розрахунки пилосистеми та пальників підтвердили можливість реалізації схеми зі скиданням запиленого сушильного агента до скидних пальників, подачі пилу в

центрального каналу основних пальників трубою ПВКр і подачі центрального, первинного і вторинного повітря до всіх основних пальників з відглушкою або переведенням у режим захисного дуття зовнішнього каналу вторинного повітря. Для остаточного прийняття рішення про рекомендацію такої схеми для переведення котла ст. № 3 на спалювання газового вугілля потрібно підтвердити для цієї схеми наявність умов для стійкого рідкого шлаковидалення, відсутності шлакування ширма "затягування" факелу вгору шляхом повіркових позонних розрахунків топки котла ТПП-210А.

Основною відмінністю методу позонних розрахунків від тих, що виконували стосовно котла ст. № 4, є те, що на котлі ст. № 4 весь пил, повітря і відпрацьований сушильний агент подавались до основних пальників, розташованих в 1 ярус. Це давало змогу розглядати передтопок нижче перетиску як одну, єдину зону, і ділити топку для позонного розрахунку на 6 зон. У цьому випадку передбачено подачу реагентів у два яруси з істотно відмінними характеристиками:

- *нижній ярус* – основні пальники (вугільний пил – ПВКр, 87 % від загальної витрати, окислювач – гаряче повітря з температурою близько 320 °С, сумарний надлишок повітря відносно пилу, що подається в основні пальники, близький до 1,16);
- *верхній ярус* – скидні пальники (вугільний пил – у запиленому сушильному агенті, 13 % від загальної витрати, окислювач – сушильний агент із вмістом кисню 14,5-15,5 %, з температурою близько 100 °С, сумарний надлишок повітря відносно пилу, що подається у скидні пальники, становить 1,3-1,6).

Для такого випадку доцільно розділити передтопок на висоті на дві зони (у першій – основні, у другій – скидні пальники), а всю топкову камеру – на 7 зон (рис. 2). Варто зазначити, що гази рециркуляції, які використовуються для сушіння палива, до першої зони не надходять. Тому для виконання позонного розрахунку методику, наведену в Нормативному методі, довелося істотно уточнити з урахуванням різної витрати реагентів та продуктів згоряння в першій та інших зонах.

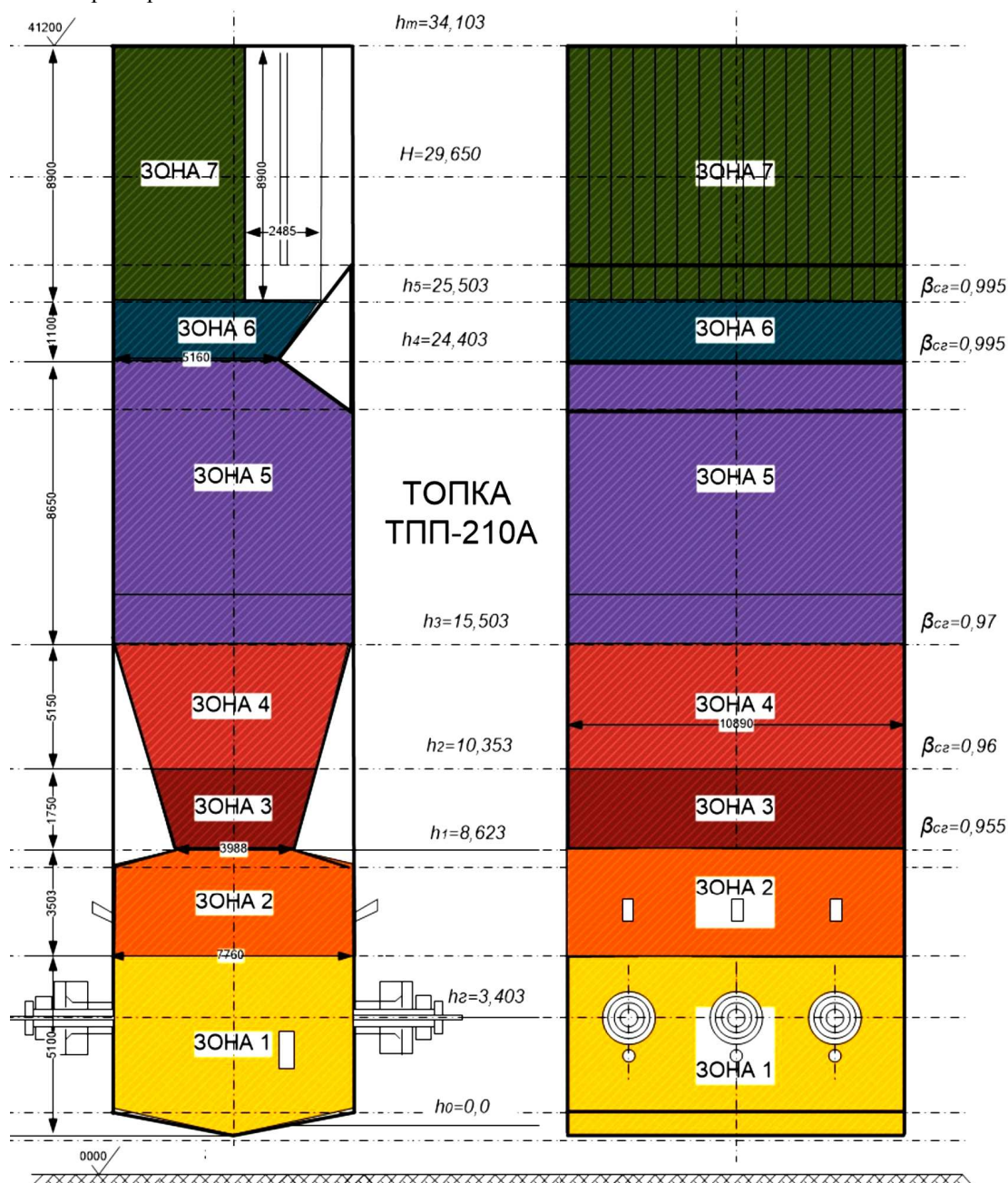


Рис. 2. Схема топкової камери котла ТПП-210А ст. № 3 із зазначенням зон для теплового розрахунку

Результати повіркових розрахунків котла ТПП-210А та топкової камери під час спалювання газового вугілля на навантаженнях 100 і 70 % наведено в табл. 3, 4. Їх аналіз свідчить про таке.

1. Температура газів на виході з останньої зони відрізняється від температури відхідних газів для топки загальною менше ніж на 30-35 °С у всіх розрахованих режимах, що підтверджує коректність застосованого методу розрахунку і правильність вибору вихідних даних.
2. Застосування розбиття передтопки на дві зони з роздільною подачею реагентів істотно уточнює отримані дані, насамперед у першій зоні за температурою газів, у третій-четвертій зонах за тепловим навантаженням теплосприймальної поверхні.
3. Завдяки тому, що в першу зону вугілля і гаряче повітря подаються в оптимальному співвідношенні, а сушиль-

ний агент, включаючи гази рециркуляції, омиває першу зону і подається лише в другу, у першій зоні в усьому діапазоні розрахункових навантажень забезпечується висока температура, достатня як для підтримання режиму РШВ навіть для вугілля серт. № 22 з тугоплавною золою, так і для стабілізації займання скидного факелу.

4. Високі рівні питомого теплового навантаження променесприймальної поверхні у третій-четвертій зонах забезпечують загальний високий теплотієм екранними поверхнями, так що температура газів на виході з топки становить не більше ніж 1128 °С. За температури розм'якшення золи розрахункової суміші 1240 °С це доводить відсутність ризику шлакування ширм в усьому діапазоні навантажень.

Табл. 3. Основні результати повіркових позонних теплових розрахунків топкової камери котла ТПП-210А при переході на спалювання газового вугілля (ДГР серт. № 22)

Паливо	ДГР серт. № 22			
Навантаження котла (2 корпуси), Гкал/год	653,4	591,2	534,1	473,8
Адіабатична температура горіння, °С	1775,3	1779,7	1784,7	1791,4
Температура газів на виході з топки, °С	1081	1051	1021	984
Відносна висота першої зони	0,172	0,172	0,172	0,172
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,8117	0,8117	0,8117	0,8117
Температура газів на виході з першої зони, °С	1649,1	1649,1	1649,1	1649,0
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні першої зони, кВт/м ²	111,1	111,1	111,1	111,1
Відносна висота другої зони	0,29	0,29	0,29	0,29
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,96	0,96	0,96	0,96
Температура газів на виході з другої зони, °С	1571,5	1553,7	1533,6	1507,8
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні 2 зони, кВт/м ²	122,4	117,8	112,7	106,4
Відносна висота третьої зони	0,349	0,349	0,349	0,349
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,97	0,97	0,97	0,97
Температура газів на виході з третьої зони, °С	1537,4	1517,3	1495,2	1466,3
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні третьої зони, кВт/м ²	280,1	268,0	255,1	238,9
Відносна висота четвертої зони	0,523	0,523	0,523	0,523
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході з четвертої зони, °С	1416,5	1390,2	1362,3	1328,7
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні четвертої зони, кВт/м ²	210,1	197,5	184,7	170,1
Відносна висота п'ятої зони	0,823	0,823	0,823	0,823
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході з п'ятої зони, °С	1216,3	1186,5	1155,7	1116,2
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні п'ятої зони, кВт/м ²	124,5	114,9	105,7	94,5
Відносна висота шостої зони	0,8601	0,8601	0,8601	0,8601
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході із шостої зони, °С	1199,7	1169,6	1138,8	1098,7
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні шостої зони, кВт/м ²	118,7	109,4	100,5	89,7
Відносна висота сьомої зони	1	1	1	1
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході з топки, °С	1113,4	1081,7	1049,6	1013,1
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні сьомої зони, кВт/м ²	92,4	84,4	76,7	68,7

Табл. 4. Основні результати повіркових позонних теплових розрахунків топкової камери котла ТПП-210А при переході на спалювання газового вугілля (суміш 40 % серт. № 186 + 60 % серт. № 204)

Паливо	Суміш 40+60*			
Навантаження котла (2 корпуси), Гкал/год	650,7	588,7	531,8	471,9
Адіабатична температура горіння, °С	1821,6	1826,2	1831,6	1838,8
Температура газів на виході з топки, °С	1090	1060	1027	989
Відносна висота першої зони	0,172	0,172	0,172	0,172
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,8117	0,8117	0,8117	0,8117

Температура газів на виході з першої зони, °C	1688,1	1688,1	1688,1	1688,0
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні першої зони, кВт/м ²	117,4	117,4	117,4	117,5
Відносна висота другої зони	0,29	0,29	0,29	0,29
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,96	0,96	0,96	0,96
Температура газів на виході з другої зони, °C	1598,5	1579,2	1557,8	1529,9
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні другої зони, кВт/м ²	126,0	120,9	115,5	108,8
Відносна висота третьої зони	0,349	0,349	0,349	0,349
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,97	0,97	0,97	0,995
Температура газів на виході з третьої зони, °C	1562,3	1540,7	1516,9	1524,8
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні третьої зони, кВт/м ²	286,8	273,7	259,7	264,8
Відносна висота четвертої зони	0,523	0,523	0,523	0,523
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході з четвертої зони, °C	1436,3	1408,2	1379,4	1332,8
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні четвертої зони, кВт/м ²	212,2	198,7	185,6	166,0
Відносна висота п'ятої зони	0,823	0,823	0,823	0,823
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході з п'ятої зони, °C	1231,4	1200,3	1168,9	1120,4
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні п'ятої зони, кВт/м ²	123,6	113,8	104,6	91,6
Відносна висота шостої зони	0,8601	0,8601	0,8601	0,8601
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході із шостої зони, °C	1214,3	1183,3	1151,7	1103,4
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні шостої зони, кВт/м ²	117,6	108,3	99,3	86,9
Відносна висота сьомої зони	1	1	1	1
Ступінь вигорання палива на виході зі зони	0,995	0,995	0,995	0,995
Температура газів на виході з топки, °C	1128,0	1095,5	1062,7	1019,7
Середнє питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні сьомої зони, кВт/м ²	91,3	83,3	75,7	66,8

Отже, можливість та доцільність реалізації схеми зі скиданням відпрацьованого сушильного агенту до скидних пальників підтверджено як витратно-швидкісними розрахунками пилосистем і пальників, так і повірковими позонними розрахунками топки для обох видів розрахункового вугілля на навантаженнях від 100 до 70 % від номінального.

Температурні умови роботи стінок екранів топкової камери можуть бути оцінені за температурою газів у зонах та величиною питомого (на 1 м²) теплового навантаження променесприймальної поверхні в зонах.

З даних, наведених у роботі [3], випливає, що під час спалювання антрацит з калорійністю 5500 ккал/кг за номінального навантаження питоме теплове навантаження екранів у 1-2 зонах становить 151-176 кВт/м², максимальне питоме теплове навантаження екранів реалізується у 3 зоні і становить 260 кВт/м². Для розрахункового газового вугілля на номінальному навантаженні в тих самих зонах цей показник не перевищує 117-126 та 280-286 кВт/м², відповідно. За максимальним рівнем питомого теплового навантаження екранів газове вугілля перевищує антрацит з калорійністю 5500 ккал/кг на 10 % і приблизно відповідає рівню, який реалізується під час спалювання антрацит з проектною калорійністю 6050 ккал/кг. У решті зон і на часткових навантаженнях питоме теплове навантаження є меншим. Максимальна температура газів під час спалювання антрацит з калорійністю 5500 ккал/кг становить 1711 °C, газового вугілля – 1688 °C.

Отже, температура газів та питоме теплове навантаження променесприймальної поверхні у всіх зонах топки під час спалювання газового вугілля не перевищують ті, що реалізуються під час спалювання антрацит, що свідчить про непогіршення наявних (як під час спалювання антрацит) температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля у всіх зонах топки.

Висновки. Подано результати передпроектного виконання розрахунків та аналізу варіантів технологічних схем для системи приготування пилу, подачі пилу в котел та спалювання в котлі ТПП-210А блоку № 3 Трипільської ТЕС вугілля марок Г та ДГ з максимальним збереженням компоновки наявного обладнання за різних навантажень, пусків і зупинів, а також виконання оцінки досяжного діапазону потужності блоку під час роботи на вугіллі марки Г та на вугіллі марки ДГ.

Виконано позонний тепловий розрахунок топки за визначеними варіантами за різних навантажень. Проведено розрахункову оцінку діапазону навантаження для забезпечення умов РШВ, запобігання шлакуванню ширм та збереження наявних температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля різної якості.

Повіркові теплові розрахунки котла ТПП-210А ст. № 3 виконували згідно з Нормативним методом з використанням довідкових даних для визначення можливості несення котлом номінального та часткових навантажень. Загалом було виконано 9 варіантів розрахунків (на антрациті з калорійністю 5500 ккал/кг на номіналь-

ному навантаженні – для верифікації застосованого методу та вихідних даних щодо котла; на двох розрахункових паливах на навантаженнях 100, 90, 80 та 70 % від номінального). Для розрахунку використовували фактичні значення присмоктів у топку, елементи конвективної шахти та РПП. Наведено основні результати, які свідчать про таке:

- відповідність результатів розрахунків по АШ до фактичних показників котла свідчить про правомірність методу розрахунку та вихідних даних;
- результати свідчать про можливість спалювання в котлі ТПП-210А газового вугілля за збереження основних характеристик та збільшення ККД на 3-4 % завдяки зменшенню механічного недопалу;
- за продуктивності димосмоку ДО-31,5 900 тис. м³/год. наявне обмеження корпусу щодо номінального навантаження. Це обмеження фактично не впливає на роботу котла на АШ, оскільки збігається з обмеженням для сушильної продуктивності пилосистем. Під час роботи на газовому вугіллі обмеження для сушильної продуктивності млинів не очікуються, проте внаслідок збільшення питомої витрати відхідних газів варто очікувати обмеження номінальної теплопродуктивності котла на 8-10 % внаслідок обмеження тяги за наявного рівня присмоктів до котла.

Підтверджено можливість та доцільність реалізації схеми зі скиданням відпрацьованого сушильного агенту до скидних пальників як витратно-швидкісними розрахунками пилосистем і пальників, так і повірковими позонними розрахунками топки для обох видів розрахункового вугілля на навантаженнях від 100 до 70 % від номінального.

Показано, що температура газів та питома теплове навантаження променесприймальної поверхні у всіх зонах топки під час спалювання газового вугілля не перевищують ті, що реалізуються під час спалювання антрациту, що свідчить про непогіршення наявних (як під час спалювання антрациту) температурних умов експлуатації стінок НРЧ під час спалювання газового вугілля у всіх зонах топки.

References

1. Lys, S. S., & Yurasova, O. H. (2018). Analysis of Methods for Increasing the Operating Term of the Boiler Unit TP-100a of the Power Unit № 10 Burshtyn TPP. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 99–103. <https://doi.org/10.15421/40280120>
2. Cherniavskiy, M. V., Moiseienko, O. V., & Monastyrova, T. M. (2017). Istoriia i perspektyvy vykorystannia vuhillia na TES Ukrainy z ohliadu na metu skorochennia vykydiv parnykovykh haziv. *Vuhilna teploenerhetyka: shliakhy rekonstruktsii ta rozvytku: zb. nauk. prats 13-oi Mizhnar. nauk.-prakt. konf.*, (pp. 21–27). Kyiv: IVE NAN Ukrainy, 268 p. [In Ukrainian].
3. Analiz variantiv ta rozrakhunkove obgruntuvannia tekhnichnykh rishen dlia podalshoi rozrobky ta realizatsii proektu "Tekhnichne pereosnashchennia kotloahrehatu st. № 4 Trypils'koi TES v chastyni vykorystannia neproektnoho palyva (vuhillia marok H, DH) na vul. Promyslovii, 1, m. Ukrainka Obukhivskoho raionu Kyivskoi oblasti": Zvit pro NDR za dohovorom № 15/17 vid 31.05.2017 (zakliuchnyi). *Nauk. kerivnyk Cherniavskiy, M. V.* Kyiv: IVE NAN Ukrainy, 2017. [In Ukrainian].
4. Cherniavskiy, M. V., Miroshnychenko, Ye. S., & Provalov, O. Yu. (2017). Analiz variantiv ta rozrakhunkove obgruntuvannia tekhnichnykh rishen dlia perevedennia kotla TPP-210A Trypils'koi TES na spaliuvannia hazovoho vuhillia. *Vuhilna teploenerhetyka: shliakhy rekonstruktsii ta rozvytku: zb. nauk. prats 13-oi Mizhnar. nauk.-prakt. konf.*, (pp. 86–90). Kyiv: IVE NAN Ukrainy, 368 p. [In Ukrainian].
5. RD 153-34.1-03.352-99. "Pravila vzyvobezopasnosti toplivopodachi i ustanovok dlia prigotovleniia i szhiganiia pylevidnogo topliva". Retrieved from: <https://files.stroyinf.ru/In-dex2/1/4294846/4294846815.htm>. [In Russian].
6. HKD 34.20.507-2003 "Tekhnichna ekspluatatsiia elektrychnykh stantsii i merezh: Pravyla" (PTE). Kyiv: Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy. Retrieved from: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245088130>. [In Ukrainian].
7. Teplovoi raschet kotelnikh agregatov (Normativnyi metod). (1973). Pod red. Kuznetcova, N. V., Mitrova, V. V. i dr. Moscow: Energiia, 296 p. [In Russian].
8. Teplovoi raschet kotlov (Normativnyi metod). (1998). St. Petersburg: OAO "VTI", NPO TcKTI, 259 p. [In Russian].
9. Golyshev, L. V., Vinnitskii, I. P., & Fil, S. A., et al. (2003). Economic Parameters of the Coal-Fired TPP-210A Boiler under Nonstationary Operating Modes. *Power Technology and Engineering*, 37, 302–305.

O. H. Yurasova

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

JUSTIFICATION OF TECHNICAL RE-OVERVIEW SOLUTIONS OF TRIPIL'S HEATING POWER PLANT

The work involves the analysis of options, including the experience of technical re-equipment of the unit № 4, preliminary design calculations of technological schemes for the system of dust preparation, dust supply to the boiler and combustion in the boiler ТПП-210А unit № 3 of Trypillia TPP coal grades Г and ДГ with the maximum preservation of the layout of available equipment at different loads, starts and stops, estimation of the achievable power range of the unit when working on coal grades Г and ДГ and substantiation of a set of technical solutions for boiler conversion unit № 3 on gas coal. The thermal calculation of the furnace according to certain variants at different loads was performed. The estimated load range was calculated to ensure the conditions of the RCWs, to prevent slamming of the screens and to preserve the available temperature conditions for the operation of the walls of the NDF when burning coal of different quality. The calibration thermal calculations of the ТПП-210А boiler were performed. № 3 according to the Normative method with the use of reference data to determine the possibility of carrying the boiler nominal and partial loads. In total, 9 variants of calculations were performed (on anthracite with a calorific value of 5500 kcal/kg at nominal load – to verify the applied method and boiler output; on two calculated fuels at loads of 100, 90, 80 and 70 % of the nominal). The actual values of furnace intakes, elements of the convective shaft, and the RPF were used in the calculation. Possibility and feasibility of realization of the scheme with the discharge of the spent drying agent to the waste burners as cost-speed calculations of vacuum cleaners and burners, as well as calibration zone calculations of the furnace for both types of calculated coal at loads from 100 to 70 % of the nominal are confirmed. It is shown that the gas temperature and the specific heat load of the receiving surface in all areas of the furnace during combustion of gas coal do not exceed those realized during the combustion of anthracite, which testifies to the deterioration of the temperature conditions of the operation of the coal grill walls during combustion of anthracite all areas of the firebox.

Keywords: anthracite; gas coal; dust combustion; dust preparation; thermal calculation.