

## References

1. Lys S.S. (2009). Ohliad tekhnolohii hazyfikatsii derevyny. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy : zb. nauk.-tekhn. prats. Lviv : RVV NLTU Ukrainy, Iss. 19.12, pp. 101–105. (Ukr.)
2. Zheleznaya T.A., Geletuha G.G. (2006) Obzor sovremennyih tekhnologiy gazifikatsii biomassyi, *Promyshlennaya teplotekhnika*, No. 2, pp. 61–74. (Rus.)
3. Geletuha G.G., Zheleznaya T.A. (2005). Obzor sovremennyih tekhnologiy szhiganiya drevesinyi dlya vyirabotki tepla i elektroenergii, *Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, No. 3, pp. 64–68. (Rus.)
4. Brown Robert C. (2011). Thermochemical processing of biomass : conversion into fuels, chemicals and power (wiley series in renewable resource)/ John Wiley & Sons Ltd., UK, 348.
5. Basu Prabir. (2010). Biomass gasification and pyrolysis : practical design. Press is an imprint of Elsevier, USA, 376 p.
6. De Souza-Santos Marcio L. (2010). Solid fuels combustion and gasification : modeling, simulation, and equipment operations (Second edition). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, 508 p.
7. Lys S.S., Badera Y.S., Hnatyshyn Ya.M. (2009). Hazohenerator, Patent Ukrayiny na korysnu model 38952, MKP C 10 J 3/00, Vlasnyk : NLTU Ukrayiny, Bull. 2. (Ukr.)
8. Pylypchuk M.I., Hryhoryev A.S., Shostak V.V. Osnovy naukovykh doslidzhen', Lviv : Znannya, 2007, 234 p. (Ukr.)
9. Lys S.S., Mysak Y.S.. Termichna pererobka derevyny metodom sutsil'noho sharu v hazopodibne palyvo. Skhidno-Yevropeys'kyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy. 2012, (3/8), pp. 47–49. (Ukr.)
10. Lys S.S. (2010). Analiz eksperymentalnykh doslidzhen hazohenerатора z sutsilnym sharom. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy : zb. nauk.-tekhn. prats. Lviv : RVV NLTU Ukrainy, Iss. 20.7, pp. 64–68. (Ukr.)
11. Lys S.S., Mysak Y.S. (2012). Fyzyko-khimichna model protsesu hazyfikatsii derevyny, *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*, Iss. 2, pp. 301–304. (Ukr.)
12. Lys S.S., Mysak Y.S. (2012). Vplyv volohosti derevyny na protses hazyfikatsii derevyny metodom sutsilnoho sharu. Skhidno-levropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii, 4/8 (58), 4–6. (Ukr.)

Received November 18, 2017

УДК 621.182.4

**Мисак Й.С.<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, проф., **Федоришин В.С.<sup>2</sup>**,  
**Мисак С.Й.<sup>2</sup>**, **Коваленко Т.П.<sup>1</sup>**, канд. хім. наук, **Ханас О.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Національний університет «Львівська політехніка», Львів**

вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна, e-mail: kovalenkotaniy@gmail.com

<sup>2</sup> **ПРАТ «ЛьвівОРГРЕС», Львів**

вул. Тютюнників, 55, 79011, Львів, Україна, e-mail: s.mysak750@gmail.com

## Дослідження експлуатаційного парохімічного очищення котла ТГМП-344А Мінської ТЕЦ-4

Розроблено інженерами ПРАТ «ЛьвівОРГРЕС» та реалізовано на виробництві парохімічний метод очищення внутрішніх поверхонь екранних труб котла ТГМП-344А Мінської ТЕЦ-4. Представлено методики та етапи його проведення. Наведено принципову схему експлуатаційного парохімічного очищення котла ТГМП-344А та її опис. Подано перелік приладів для контролю параметрів циркуляції та парової продувки. Зведено у таблицю хімічні речовини, використані для проведення парохімічного очищення. Наведено порівняльні результати забруднень поверхонь нагріву котла до та після проведення парохімічного очищення. Показано, що застосування парохімічного очищення котла забезпечує значне зниження утворення нових відкладень на внутрішніх поверхнях екранних труб котла. Після застосування даної технології очищення з пароводяного тракту котла видалено 94 % відкладень порівняно з початковою забрудненістю та 3464 кг заліза у перерахунку на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Бібл. 6, рис. 1, табл. 2.*

**Ключові слова:** парохімічне очищення, екранні труби, поверхні нагріву, котел, теплоелектроцентрально.

### **Постановка проблеми**

В сучасних умовах дуже важливими є проблеми підвищення надійності та економічності теплоенергетичного устаткування. Надійна та економічна робота основних агрегатів блоку (котла та турбіни), а також пов'язаного з ними устаткування (конденсатора, конденсатно-живильного тракту, системи регенерації) багато в чому залежить від стану внутрішніх поверхонь пароводяних трактив та може бути підвищена при своєчасному та якісному проведенні заходів щодо їх очищення від відкладень та захисту від корозійних процесів.

Практика проведення хімічного очищення на теплових електростанціях останнім часом істотно змінилася у зв'язку з тим, що велика кількість енергоблоків, котлів та турбін перебуває тривалий час у простоюванні, а також через брак матеріальних засобів та наявність значної кількості застарілого устаткування.

Отже, одним із важливих питань теплоенергетики є очищення внутрішніх стінок екранних труб котла від накипу та інших забруднень. Екранні труби, взаємодіючи з водою протягом усього терміну експлуатації, а також під час простоювання в резерві зазнають впливу корозії. Вчасне проведення парохімічного очищення дає змогу забезпечити ефективну передачу тепла через стінки труб, що матиме значний вплив на паропродуктивність котла та, відповідно, на ефективну роботу теплової електростанції в цілому.

### **Аналіз літературних джерел та задачі досліджень**

Проведення передпускових та експлуатаційних очисток внутрішніх поверхонь пароводяних трактив теплоенергетичного устаткування обумовлюється необхідністю підтримки рівня відкладень, що не перевищують допустимого, та регламентуються відповідними нормативними документами [1, 2]. Своєчасно та якісно виконане очищення підвищує гідрогазодинамічні характеристики трактив, ефективність теплообміну та запобігає перевитраті палива (відомо, що відкладення товщиною 1 мм підвищують споживання палива на 10 %), попереджає можливість перевитрати металу трубних випарних та пароперегрівних систем котла, знижує швидкість корозійних процесів, сприяє зменшенню виносу в проточну частину турбіни міді, оксидів заліза та інших сполук при пуску устаткування в експлуатацію [3].

Існує безліч різних методів для очищення трубного простору, внутрішніх поверхонь на-

гріву теплообмінного устаткування: механічні, хімічні, гідродинамічні, із застосуванням різного устаткування (фрези, обертаючих насадок, установки високого тиску тощо). Кожен з цих методів має свої обмеження та недоліки. Такі методи не завжди ефективні, часто призводять до різних ушкоджень очищаючих поверхонь, не універсальні, не можуть бути застосовані для вирішення широкого кола завдань [4]. Все це не дає змоги якісно та на високому рівні вирішувати складні завдання, що виникають у процесі ремонту та відновлення теплоенергетичного устаткування. Крім того, існують проблеми, вирішення яких із залученням цих методів неможливо. Першочерговими з них є очищення внутрішніх поверхонь нагріву та міжтрубного простору.

У даній роботі велику увагу приділено хімічному методу очищення поверхонь нагріву теплообмінного устаткування, оскільки такий метод є швидким, дешевим та доступним у застосуванні. Найважливішими факторами, що визначають вибір хімреагентів для проведення хімпромивок, є їх доступність, відносно низька вартість, ефективність використання та екологічна безпека [5]. Існує велика кількість різних хімічних реагентів (соляна, сірчана та щавлева кислоти, комплекси різного складу, похідні фосфонових кислот тощо) та методів їх використання [4, 6].

Найефективнішими методами передпускового очищення слід вважати очищення 3–5 %-м розчином соляної кислоти, 2–3 %-м розчином моноітрату амонію, композиціями трилону Б з органічними кислотами з сумарною концентрацією компонентів 10–20 г/кг [4]. Ці реагенти при підвищених температурах та циркуляції розчину забезпечують швидке розчинення продуктів атмосферної корозії. Загальновідомою є шкода кислот по відношенню до металевих поверхонь: разом із відкладеннями руйнується структура металу. Роботи з кислотомісними сумішами вимагають підвищеної уваги кваліфікованого персоналу та засобів індивідуального захисту. Промивна вода становить небезпеку для водного середовища та створює навантаження на очисні споруди населених пунктів.

Відносно дешевими та ефективними засобами очищення є розчини фталевого ангідриду та концентрату низькомолекулярних кислот [4]. При очищенні фталевим ангідридом слід зважати на відносно низьку розчинність самого реагенту, що робить небезпечним припинення циркуляції розчину.

Усе це потребує якісної зміни технологій очищення теплообмінних поверхонь, методів

руйнування та видалення відкладень; розробки, проведення випробувань та впровадження принципово нових, наукомістких технічних рішень, що відрізняються екологічною чистотою, високою ефективністю та низьким енергоспоживанням. У зв'язку з цим у даній роботі була поставлена мета розробити та дослідити новий метод очищення котла ТГМП-344А Мінської ТЕЦ-4.

### Результати та їх обговорення

Підприємство ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС» працює у сфері енергетики протягом 73 років, виконуючи роботи не лише на багатьох енергооб'єктах України, а й за її межами. У 2016 р. на Мінській ТЕЦ-4 інженерами ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС» було виконано великий обсяг робіт з парохімічного очищення (ПХО) внутрішніх поверхонь екранних труб котла ТГМП-344А ст. № 6. Котел номінальною продуктивністю 1000 т/год призначений для спалювання високосірчистого мазуту та природного газу.

Парохімічне очищення пароводяного тракту котла до вбудованої засувки мало три стадії кислотної промивки інгібованим розчином композиції трилону Б з лимонною кислотою з концентрацією компонента 1,0, 1,0 та 0,5 % відповідно. Відкладення у розм'якшеному вигляді видалялися парою з блочного колектора власних потреб, а також водними відмивками. Пасивація відмитих поверхонь нагріву після парохімічного очищення котла була проведена гідразином з концентрацією 400–500 мг/кг. Циркуляція розчину здійснювалася помпами кислотної промивки. Принципова схема парохімічного очищення котла ТГМП-344А представлена на рисунку.

Приготування розчину відбувається у баку консервуючого розчину (БКР) об'ємом 300 м<sup>3</sup>, у який дозують необхідні реагенти, а також подається пара та хімічно знесолена вода (ХОВ). Лимонна кислота готується у мішалці об'ємом 4 м<sup>3</sup> (2 шт.) за допомогою помпи-мішалки (2 шт.).

Циркуляція робочого середовища здійснюється помпами кислотної промивки (ПКП) типу МСК-1000-350 продуктивністю 1000 м<sup>3</sup>/год з напором 35 кгс/см<sup>2</sup>, на всмоктування яких робоче середовище подається існуючим трубопроводом діаметром 603 × 8 мм після деаератора Д-7, тимчасовим трубопроводом діаметром 273 × 8 мм та всмоктувальним колектором діаметром 630 × 8 мм.

Після помп кислотної промивки робоче середовище напірним колектором діаметром 630 ×

8 мм подається у район котла ст. № 6, від якого тимчасовим трубопроводом діаметром 273 × 8 мм направляється до вбудованого пристрою, який встановлений у корпусі засувки на лінії подачі живильної води до котла. Вбудований пристрій виконаний таким чином, що забезпечує подачу робочого середовища до котла та запобігає потраплянню середовища до підігрівників високого тиску (ПВТ).

Від засувки на лінії подачі живильної води до котла робоче середовище спрямовується у пароводяний тракт котла до вбудованої засувки. Пройшовши вбудовані сепаратори, розпалювальний розширювач РС-20, існуючий трубопровід  $d_y$  350 мм (подача пари з РС-20 у конденсатор чи деаератор), тимчасовий трубопровід діаметром 273 × 8 мм, робоче середовище подається у деаератор Д-7, контур замикається на всмокт помп кислотної промивки. З боку конденсатора після засувки встановлюється заглушка.

Підвід робочого середовища від розпалювального розширювача РС-20 до деаератора Д-7 здійснюється від лінії подачі пари з РС-20 у конденсатор від регулювального клапана (регулювальний клапан демонтується).

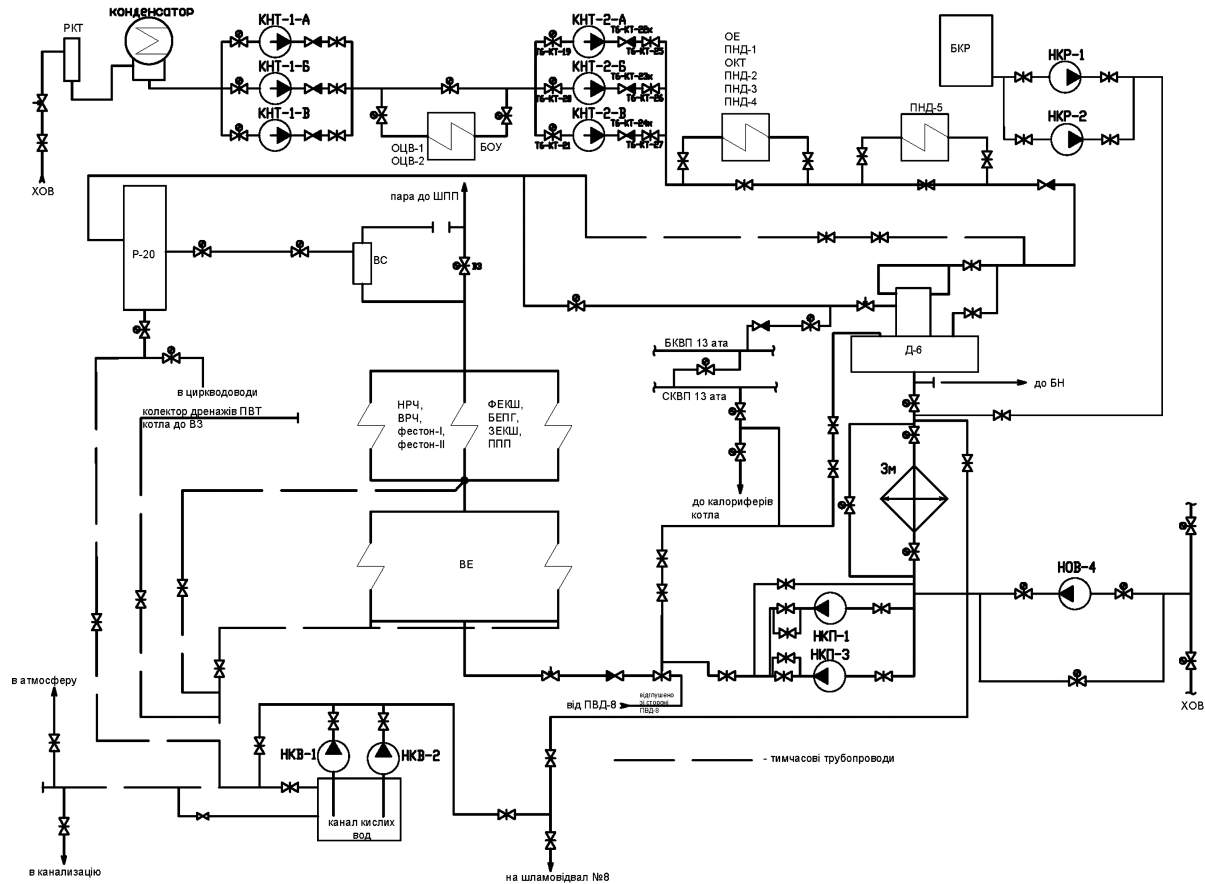
Циркулюючий розчин до деаератора Д-7 підводиться по двох нитках трубопроводів діаметром 273 × 8 мм: перша нитка підключена до колонки деаератора через лінію основного конденсату, друга – до люка баку деаератора діаметром 530 × 14 мм. Перша нитка використовується для нагріву робочого середовища, яке не містить кислоти; друга – на час проведення кислотної стадії парохімічного очищення. Щоб не допустити потрапляння розм'якшених відкладень у пароводяний тракт котла, в деаераторі Д-7 нарощуються всмоктувальні патрубки на 500 мм, на яких встановлюється сітка з вічками 5 мм.

Для зменшення гідравлічного опору циркуляційного контуру демонтуються арматура ДР-1, ДР-2 та дросельний набір перед РС-20, замість яких встановлюють трубні проставки.

Щоб не допустити потрапляння робочого середовища у паровий тракт котла, демонтується арматура ДР-3, замість якої на трубопроводах встановлюються заглушки з боку вбудованого сепаратора та з боку котла.

Щоб не допустити спрацювання запобіжних клапанів на лінії подачі пари від розпалювального розширювача РС-20 до деаератора, на підвідних до них трубопроводах встановлюють заглушки (2 шт.).

Підготовлені розчини подаються у контур парохімічного очищення котла трубопроводом



Принципова схема експлуатаційної парохімічної очистки котла ТГМП-344А Мінської ТЕЦ-4.

діаметром  $d_y$  100 мм за допомогою помпи консервуючого розчину типу Д-200/95, встановленої у хімічному цеху (ПКР ХЦ), продуктивністю  $200 \text{ м}^3/\text{год}$  з напором 95 мм вод. ст. або резервною помпою типу К-90/85 продуктивністю  $90 \text{ м}^3/\text{год}$  з напором 85 мм вод. ст., на всмокт помп кислотної промивки через байпас помпи консервуючого розчину в головному корпусі (ПКР ГК).

Розчин з контура парохімічного очищення котла витісняється у скидний колектор діаметром  $273 \times 8$  мм з таких врізок:

- від штуцерів підвідних колекторів  $d_y$  125 мм водяного економайзера (з правого та лівого боків) трубопроводами діаметром  $133 \times 8$  мм (6 шт.);
- від нижніх колекторів нижньої радіаційної частини (НРЧ-I) діаметром  $219 \times 36$  мм трубопроводами  $159 \times 8$  мм (6 шт.);
- від розпалювального розширювача РС-20 від лінії скиду води в конденсатор трубопроводом діаметром  $273 \times 8$  мм (1 шт.);

- від колектора дренажів пароводяного тракту котла до вбудованої засувки трубопроводом  $108 \times 4$  мм (1 шт.);

- від корит повітряників пароводяного тракту котла до вбудованої засувки трубопроводами  $d_y$  50 (2 шт.).

Скидний колектор скидає робоче середовище трубопроводами діаметром  $273 \times 8$  мм:

- у канал обмивних вод регенеративних повітропідігрівників;
- у напірний колектор помп кислих вод;
- у дощову канализацію;
- в атмосферу.

Для продувки розм'якшених відкладень після кислотної стадії парохімічного очищення подається пара власних потреб від блочного колектора власних потреб 13 ата у такі місця:

- до вбудованого пристрою, встановленого в корпусі на лінії подачі живильної води до котла, трубопроводом діаметром  $273 \times 8$  мм;
- до трубопроводу подачі пари на деаератор Д-7.



**Таблиця 1. Хімічні речовини, використані для проведення парохімічного очищення внутрішніх поверхонь екранних труб котла ТГМП-344А**

№№ з/п	Хімічні речовини	Маса, т
1	Трилон Б	8,44
2	Кислота лимонна	10,12
3	Аміак водний 25 %	8,87
4	Гідразин-гідрат	0,40
5	Гашене вапно	4,47
6	Сірчана кислота	3,10
7	Прискорювач вулканізації (каптакс)	0,18
8	Інгібітор корозії (катапін)	1,05

Для контролю параметрів циркуляції та парової продувки встановлюються:

- манометр зі шкалою 0–2 МПа на напірному колекторі помпи консервуючого розчину;
- витратомірний пристрій з робочим тиском 4 МПа, температурою 120 °С, шкалою 0–1500 м<sup>3</sup> на напірному колекторі помпи кислотної промивки;
- манометр зі шкалою 0–6 МПа на напірному колекторі помпи кислотної промивки;
- манометр зі шкалою 0–6 кгс/см<sup>2</sup> на напірному колекторі помп кислих вод;
- манометр зі шкалою 0–6 кгс/см<sup>2</sup> на скидному колекторі.

Для контролю хімічного складу відкладень у відпрацьованому розчині в скидному колекторі встановлюється пробовідбірник з підводом охолоджувальної води для охолодження проб.

Для заповнення та дренажу тимчасових трубопроводів парохімічного очищення котла передбачені дренажі та повітряники; щоб не допускати їх пошкоджень передбачені компенсатори температурних розширень та опорно-підвісна система.

Парохімічне очищення котла було проведене під технічним керівництвом та за розробленою інженерами ПАТ «Львів-ОРГРЕС» програмою. Перед початком ПХО був проведений контроль над вирізками зразків труб поверхонь нагріву.

Програма ПХО складалася з десяти етапів: 1 – кислотна промивка всмоктувального та напірного колекторів помпи кислотної промивки (ПКП); 2 – промивка трубопроводів помп кислотної промивки; 3 – гідразинна обробка; 4 – продувка після гідразинної обробки; 5 – перша ста-

дія кислотної промивки з витісненням відпрацьованого розчину; 6 – продувка після першої стадії кислотної промивки; 7 – друга стадія кислотної промивки з витісненням відпрацьованого розчину; 8 – продувка після другої стадії кислотної промивки; 9 – третя стадія кислотної промивки з витісненням відпрацьованого розчину; 10 – продувка після третьої стадії кислотної промивки.

Трубопроводи всмоктувального та напірного колекторів помпи кислотної промивки на 1-му етапі парохімічного очищення були оброблені за методом травлення протягом 7 год розчином сірчаної кислоти концентрацією 4,2–4,4 % з температурою 35–40 °С. Після кислотної була виконана їх водна відмивка хімічно очищеною водою до освітлення води близько до початкової (2-й етап). Щоб не допускати корозії металу під час простою між 2-м та 3-м етапами, була виконана нейтралізація трубопроводів тривалістю 33 год розчином аміаку до встановлення рН 9.

На 3-му етапі перед початком гідразинної обробки через колонку деаератора була прогріта вода; витрата циркулюючого середовища становила 980–1000 м<sup>3</sup>/год; початкова концентрація гідразину – 0,18 г/дм<sup>3</sup>, кінцева – 0,12 г/дм<sup>3</sup>. Гідразинна обробка тривала 5 год, температура середовища була в межах 130–40 °С.

Після гідразинної обробки виконувалося дренажування котла для продувки поверхонь нагріву. Продувку виконували парою від станційного колектора власних потреб з тиском 1,10–1,15 МПа та температурою 200 °С протягом 12 год (4-й етап).

Перша стадія кислотної промивки (5-й етап) у розчині трилону Б та лимонної кислоти з додаванням інгібітора тривала 10 год. Витрата циркулюючого середовища – 980–1000 м<sup>3</sup>/год, температура – 108–119 °С.

**Таблиця 2. Забрудненість поверхні нагріву**

Поверхня нагріву	Забрудненість поверхні нагріву (вогн./тил.), г/м <sup>2</sup>	
	до очищення	після очищення
НРЧ-I фронтний екран	217,21/195,95	8,82/7,64
НРЧ-I задній екран	292,53/186,47	23,14/22,57
НРЧ-II фронтний екран	295,74/167,20	21,52/20,62
НРЧ-II задній екран	207,57/202,44	6,60/5,13
НРЧ-III правий бічний екран	383,72/303,88	34,05/25,58
НРЧ-III лівий бічний екран	260,08/174,84	13,67/10,38
ВРЧ-I лівий бічний екран	182,61/159,8	20,41/19,46
ВРЧ-II лівий бічний екран	176,10/151,92	6,03/5,52
Водяний економайзер I ст.	455,43	25,94
Водяний економайзер II ст.	111,79	14,09

Концентрація трилону Б спочатку  $1,8 \text{ г/дм}^3$ , у кінці  $0,01 \text{ г/дм}^3$ , рН спочатку 3,45, у кінці 4,85. Концентрація заліза в кінці першої кислотної стадії становила  $5,67 \text{ г/дм}^3$ .

Продувка після першої стадії кислотної промивки (6-й етап) тривала 4 год.

Друга стадія кислотної промивки (7-й етап) інгібованим розчином композиції трилону Б з лимонною кислотою тривала 5 год. Витрата циркулюючого середовища —  $1140\text{--}1160 \text{ м}^3/\text{год}$ , температура —  $110\text{--}115 \text{ }^\circ\text{C}$ . Концентрація трилону Б на початку становила  $1,8 \text{ г/дм}^3$ , у кінці —  $0,0092 \text{ г/дм}^3$ ; на початку рН 3,7, у кінці — 4,22. Концентрація заліза в кінці першої кислотної стадії становила  $3,9 \text{ г/дм}^3$ . Продувка після другої стадії кислотної промивки (8-й етап) становила 4 год.

Третя стадія кислотної промивки (9-й етап) інгібованим розчином композиції трилону Б з лимонною кислотою тривала 6 год. Витрата циркулюючого середовища становила  $1020\text{--}10460 \text{ м}^3/\text{год}$ , температура —  $110\text{--}115 \text{ }^\circ\text{C}$ . Концентрація трилону Б на початку —  $1,07 \text{ г/дм}^3$ , у кінці —  $0,04 \text{ г/дм}^3$ ; рН на початку 2,62, у кінці — 3,8. Концентрація заліза у кінці першої кислотної стадії становила  $2,8 \text{ г/дм}^3$ .

Продувка після третьої стадії кислотної промивки (10-й етап) тривала 8 год.

Після кислотної промивки була виконана гідразинно-аміачна пасивація поверхонь нагріву протягом 12 год. Витрата циркулюючого середовища —  $1020\text{--}1040 \text{ м}^3/\text{год}$ , температура —  $130\text{--}140 \text{ }^\circ\text{C}$ . Концентрація аміаку на початку —  $0,52 \text{ г/дм}^3$ , у кінці —  $0,256 \text{ г/дм}^3$ ; рН на початку — 10,7, у кінці — 10,55.

Між хімічними операціями були проведені водні промивання до нейтрального середовища та освітленості, близької до початкової води.

Відрацьовані розчини були відкачані помпами кислих вод на карту шламовідвалу, де повністю нейтралізовані.

Для проведення парохімічного очищення внутрішніх поверхонь екранних труб котла ТГМП-344А використовували хімічні речовини, маса яких наведена в табл.1.

Після хімічного очищення для визначення кількості відкладень були оглянуті контрольні зразки екранів котла, трубопроводів на розпалювальний розширювач РС-20 та на вбудований сепаратор, деаератор.

У колекторах були незначні залишки пасивуючого розчину, шламу виявлено не було. Поверхні колекторів, зразки екранних труб, водя-

ного економайзера, трубопроводів на розпалювальний розширювач РС-20 та на вбудований сепаратор, деаератор були покриті захисною оксидною плівкою. Досягнуто значного зменшення забрудненості поверхонь нагріву. Порівняння початкової та кінцевої забрудненості поверхонь нагріву наведено в табл.2.

Отже, розроблений метод парохімічного очищення внутрішніх поверхонь екранних труб котла ТГМП-344А Мінської ТЕЦ-4 був реалізований на виробництві. Експериментально підтверджено зменшення забрудненості поверхонь нагріву котла та підвищення ефективності його роботи.

## Висновки

Розроблено програму парохімічного очищення внутрішніх поверхонь екранних труб котла ТГМП-344А Мінської ТЕЦ-4 з 10 етапів та реалізовано її на виробництві.

За даними хімічних аналізів, було видалено  $3464 \text{ кг}$  заліза в перерахунку на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , що становило 94 % від початкової кількості відкладень.

Експериментально підтверджено ефективність даного методу за рахунок зменшення забрудненості поверхонь нагріву котла.

## Список літератури

1. СО 34.37.306-2001 (РД 153-34.1-37.306-2001). Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций. Определение количества и химического состава отложений.
2. РД 34.37.403-91. Методические указания по эксплуатационной химической очистке энергоблоков сверхкритического давления.
3. Анипко О.Б., Арсеньева О.П. Надежность пластинчатых теплообменных аппаратов систем отопления и горячего водоснабжения с учетом образования загрязнений на теплопередающей поверхности // Интегрированные технологии и энергосбережение. — 2003. — № 4. — С. 9–13.
4. Маргулова Т.Х. Химические очистки теплоэнергетического оборудования. — М.: Энергия, 1969. — 317 с.
5. Галикеев А.Р., Аминев Ф.М. Удаление накипных и шламовых отложений их котельного оборудования химическим путем // Энергосбережение и водоподготовка. — 2004. — № 1. — С. 21–24.
6. Купреев П.Ф., Короткевич В.А. Опыт химической очистки котлов от накипи в агропромышленном комплексе Белоруссии // Промышленная энергетика. — 1990. — № 5. — С. 16–17.

Надійшла до редакції 04.11.17

**Мысак Й.С.<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, проф., **Федоришин В.С.<sup>2</sup>**,  
**Мысак С.Й.<sup>2</sup>**, **Коваленко Т.П.<sup>1</sup>**, канд. хим. наук, **Ханас А.А.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> **Национальный университет «Львовская политехника», Львов**  
вул. С. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна, e-mail: kovalenkonaniy@gmail.com  
<sup>2</sup> **ЧАО «ЛьвовОРГРЭС», Львов**  
ул. Тютюнныкив, 55, 79011 Львов, Україна, e-mail: s.mysak750@gmail.com

## Исследование эксплуатационной парохимической очистки котла ТГМП-344А Минской ТЭЦ-4

Разработан инженерами ЧАО «ЛьвовОРГРЭС» и реализован на производстве парохимический метод очистки внутренних поверхностей экранных труб котла ТГМП-344А Минской ТЭЦ-4. Представлены методики и этапы его проведения. Приведена принципиальная схема эксплуатационной парохимической очистки котла ТГМП-344А и ее описание. Перечислены приборы для контроля параметров циркуляции и паровой продувки. Сведены в таблицу химические вещества, использованные для проведения парохимической очистки. Приведены сравнительные результаты загрязнений поверхностей нагрева котла до и после проведения парохимической очистки. Показано, что применение парохимической очистки котла обеспечивает значительное снижение образования новых отложений на внутренних поверхностях экранных труб котла. После применения данной технологии очистки пароводяного тракта котла удалено 94 % отложений по сравнению с начальной загрязненностью и 3464 кг железа в пересчете на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Библ. 6, рис. 1, табл. 2.*

**Ключевые слова:** парохимическая очистка, экранные трубы, поверхности нагрева, котел, теплоэлектроцентраль.

**Mysak Yo.S.<sup>1</sup>**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
**Fedoryshyn V.S.<sup>2</sup>**, **Mysak S.Yo.<sup>2</sup>**,  
**Kovalenko T.P.<sup>1</sup>**, Candidate of Chemical Sciences, **Khanas O.O.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> **Lviv Polytechnic National University, Lviv**  
12, S. Banderi Str., 79013 Lviv, Ukraine, e-mail: kovalenkotaniy@gmail.com  
<sup>2</sup> **Private Company «LvivORGRES», Lviv**  
55, Tyutyunnykiiv Str., 79011 Lviv, Ukraine, e-mail: s.mysak750@gmail.com

## Studying of the Operation Steam Chemical Cleaning of Boiler TGMP-344

The steam chemical cleaning of the internal surfaces of the screen tubes of the boiler TGMP-344A of Minsk TPP-4 was developed by the engineers of Private Company «LvivORGRES» and implemented in production. The methods and stages of its conduct are presented. The principal scheme of operation steam chemical cleaning of the boiler TGMP-344A and its description is given. The list of devices for controlling the parameters of circulation and steam purging is presented. A table of the chemicals used for steam chemical purification was submitted. Comparative results of contaminations of heating surfaces of the boiler before and after the steam chemical cleaning are presented. It is shown that the application of steam chemical cleaning of the boiler provides a significant decreasing in the formation of new deposits on the internal surfaces of the boiler screen tubes. After using of this technology, 94 % of deposits were removed from the steam-water path of the boiler, compared with the initial contamination, and it was determined the removed amount of iron in terms of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 3464 kg. *Bibl. 6, Fig. 1, Tab. 2.*

**Key words:** team chemical cleaning, screen tubes, heating surfaces, boiler, central heating and power plant.

## References

1. SO 34.37.306-2001 (RD 153-34.1-37.306-2001) Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu sostoyaniya osnovnogo oborudovaniya teplovyih elektricheskikh stantsiy. Opredelenie kolichestva i himicheskogo sostava otlozheniy. (Rus.)
2. RD 34.37.403-91. Metodicheskie ukazaniya po ekspluatatsionnoy himicheskoy ochistke energoblokov sverhkriticheskogo davleniya (Rus.)
3. Anipko O.B., Arseneva O.P. Nadezhnost plastinchastyyh teploobmennyih apparatov sistem otopeniya i goryachego vodosnabzheniya s uchetoм obrazovaniya zagryazneniy na teploperedayushey poverhnosti, *Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie*, 2003, (4), pp. 9–13. (Rus.)
4. Margulova T.H. Himicheskie ochistki teploenergeticheskogo oborudovaniya, Moscow : Energiya, 1969, 317 p. (Rus.)
5. Galikeev A.R., Aminev F.M. Udalenie nakipnyih i shlamovyih otlozheniy ih kotel'nogo oborudovaniya himicheskim putem, *Energosberezheniye i vodopodgotovka*, 2004, (1), pp. 21–24. (Rus.)
6. Kupreev P.F., Korotkevich V.A. Opyit himicheskoy ochistki kotlov ot nakipi v agropromyshlennom komplekse Belorussii, *Promyshlennaya energetika*, 1990, (5), pp. 16–17. (Rus.)

Received November 4, 2017

УДК 621.312.04

**Мисак Й.С.**, докт. техн. наук, проф.,  
**Заяць М.Ф.**, Римар Т.І., канд. техн. наук  
 Національний університет «Львівська політехніка», Львів  
 вул. С. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна, e-mail: tan\_ru@ukr.net

## Дослідження економічних показників роботи модернізованого РПП-98

Аналіз існуючих способів та схем підігрівання повітря продуктами згоряння палива у хвостових поверхнях нагрівання котла вказує на те, що такі заходи дають можливість підвищити економічність та надійність енергоустановок, а також підвищити ККД котельних установок. Наведено результати дослідження економічних показників роботи модернізованого РПП-98 котла ТГМП-314А енергоблоку 300 МВт на природному газі в діапазоні зміни навантаження енергоблоку 160–260 МВт та на мазуті у діапазоні зміни навантаження енергоблоку 200–260 МВт. Досліди проводилися при стабільному режимі роботи котла у два етапи: за відключеної та за включеної схемами відсмоктування середовища з ущільнень РПП. Середнє збільшення ККД котла бруто складає 0,35 % під час роботи котла на природному газі та на мазуті у зазначеному діапазоні навантажень. Присмоктки повітря у РПП за навантажень енергоблоку 160–260 МВт за включеної схеми зменшуються порівняно з відключеною схемою у середньому на 7 %. *Бібл. 10, рис. 5.*

**Ключові слова:** регенеративний повітропідігрівник, схема відсмоктування середовища, присмоктки повітря, рециркуляція димових газів, ККД котла.

Підвищення економічності роботи потужних енергоблоків діючих ТЕС та ТЕЦ за рахунок підвищення початкових параметрів пари з урахуванням вимог маневреності є на сьогоднішній день надзвичайно складною технічною задачею. Тому важливим напрямом удосконалення економічних показників роботи енергоблоків ТЕС та ТЕЦ є підігрівання повітря, яке подається як окислювач палива у паливню котла, в поєднанні з системою утилізації теплоти відхідних газів.

Використання підігрівання повітря продуктами згоряння палива в останніх по ходу газів конвективних поверхнях нагрівання дає можливість суттєво знизити температуру відхідних газів та підвищити ККД котлів.

Підігрівання повітря у повітропідігрівнику котла теплотою продуктів згоряння палива виконує функції підвищення температури горіння палива, зростання температурного рівня газів у конвективних поверхнях нагрівання, покращен-