

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

БРИКАЙЛО РОМАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.182.4

**ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ УСТАТКУВАННЯ ТЕС
З ЕНЕРГОБЛОКАМИ 150 МВТ ТА З ПОПЕРЕЧНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ
І МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ**

05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України **Мисак Йосиф Степанович**,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри теплотехніки і теплових
електричних станцій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кесова Любов Олександрівна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
професор кафедри теплоенергетичних
установок теплових і атомних електростанцій;

кандидат технічних наук

Винницький Іван Петрович, ВАТ "Львів ОРГРЕС",
керівник групи надійності та економічності.

Захист відбудеться «_____» червня 2013 р. о _____ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.04 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: вул. Устияновича, 5, корп. 10, ауд. 51, Львів, 79013.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: вул. Професорська, 1, Львів, 79013.

Автореферат розісланий «_____» травня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю. З. Вашкурак

Підписано до друку 21.05.2013 р.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.
Умов. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. №68/2013

Видавець і виготовлювач: НЛТУ України
79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 103
Тел./факс: (032) 233-96-35, E-mail: nv@forest.lviv.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників та розповсюджувачів
видавничої справи ДК №2062 від 17.01.2005 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Необхідність збереження тепломеханічного устаткування теплових електричних станцій (ТЕС) під час простоювання виникла одночасно з їх експлуатацією. Підвищення уваги до вирішення зазначених завдань в енергетиці України сприяло збільшення в структурі паливно-енергетичного балансу частки використання вугілля.

ТЕС виробляють близько 45% електроенергії в Україні, а їх коефіцієнт використання встановленої потужності знаходиться на рівні 30-40%. Вони працюють в маневрових режимах, з частими зупинками в резерв та на довготривалі простої.

Актуальним залишається питання оптимізації способів захисту поверхонь нагрівання, визначення витрат енергії на консервацію окремих типів тепломеханічного устаткування.

Порівняно з консервацією внутрішніх поверхонь нагрівання пиловугільних котлів консервація зовнішніх поверхонь є менш вивченою і нерегулярно проводиться на ТЕС. До останнього часу комплексне завдання з оптимізації водяного очищення та консервації зовнішніх поверхонь нагрівання пиловугільних котлів, зокрема ТП-92 і ТП-10, практично не вирішувалось. Важливим є розроблення ефективних та енергозберігаючих способів захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котлів під час простоювання та після водяного обмивання.

Отже, оптимізація умов консервації тепломеханічного устаткування та підвищення ефективності його роботи на вугіллі є актуальною проблемою комплексного характеру і її вирішення внесе посильний вклад у зменшення витрат енергії на власні потреби ТЕС, а також у продовження терміну експлуатації устаткування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась за науковим напрямком кафедри «Теплотехніка і ТЕС» Національного університету «Львівська політехніка» згідно з держбюджетною темою за № державної реєстрації 0112U001211 та планами робіт Мінпаливенерго і ПАТ «ДТЕК Західенерго» Добротвірська ТЕС (ДТЕС), які враховували координаційні плани галузі, рішень науково-технічних конференцій, семінарів і нарад з проблем енергозбереження.

Мета роботи і завдання досліджень. Мета роботи - розробка технологій захисту тепломеханічного устаткування пиловугільних ТЕС та методів розрахунку витрат енергії.

Для досягнення мети вирішувались такі задачі:

- аналіз існуючих схем і методів захисту зовнішніх та внутрішніх поверхонь нагрівання котлів;
- розроблення ефективних схем захисту зовнішніх поверхонь нагрівання під час простоювання та після водяного очищення;
- розроблення методів експериментальних досліджень та визначення витрат енергії на захист від корозії пиловугільних енергоблоків потужністю 150 МВт та устаткування з поперечними зв'язками потужністю 100 МВт під час простоювання;

- розроблення алгоритмів захисту пароводяного, газового тракту пиловугільних котлів під час простоювання та термічного сушіння їх зовнішніх поверхонь нагрівання;

- виконання на пиловугільних котлах ТП-10 і ТП-92 експериментальних досліджень з визначення:

- оптимального часу зупинки котла (впливу золених відкладень на техніко-економічні показники роботи котла та водяного очищення на корозію металу зовнішніх поверхонь);

- критеріїв ефективного очищення та термічного сушіння зовнішніх поверхонь;

- витрат енергії на термічне сушіння гарячою водою зовнішніх поверхонь;

- експериментальне та розрахункове визначення витрат енергії на збереження зазначеного пиловугільного устаткування під час простоювання.

Об'єктом дослідження є пиловугільні котли типу ТП-92 і ТП-10 енергоблоків потужністю 150 МВт, устаткування з поперечними зв'язками потужністю 100 МВт.

Предмет дослідження. Технології захисту устаткування ТЕС з енергоблоками 150 МВт та з поперечними зв'язками і методи розрахунку витрат енергії.

Методи дослідження. У роботі використаний комплексний метод досліджень, що полягає у сумісному використанні експериментальних результатів натурних досліджень по генеруючому устаткуванню потужністю 150 і 100 МВт та аналітичного визначення оптимальних умов очищення та консервації зовнішніх поверхонь нагрівання пиловугільних котлів.

Наукова новизна роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні, розробленні технологій захисту та підвищення ефективності роботи пиловугільного устаткування ТЕС, методів визначення оптимальних умов технологічних процесів та витрат енергії, зокрема:

- вперше для енергоблоків 150 МВт та устаткування з поперечними зв'язками розроблено ефективні схеми захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котлів, що дало можливість сповільнити корозію металу;

- розроблено метод з визначення оптимального часу зупинки пиловугільних котлів, що дало змогу зменшити втрати енергії;

- досліджено вплив водяного очищення на процеси корозії металу зовнішніх поверхонь нагрівання котла при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля;

- встановлено критерії ефективного водяного очищення та термічного сушіння зовнішніх поверхонь котла при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля, що дало можливість зменшити витрати енергії. Вперше визначено апроксимуючі функції залежності розчинності вугільних відкладень від різних чинників;

- вперше отримано апробовану функціональну залежність (математичну модель) кінцевої фази термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла ТП-10, що дало можливість мінімізувати витрати енергії.

Практичне застосування отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблені три схеми захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котлів під час простоювання (після водяного очищення), на які отримано патенти України;

- розроблені методи з визначення оптимального часу зупинки котла та оптимальних умов водяного очищення і консервації зовнішніх поверхонь нагрівання, які можна застосувати для різних типів пиловугільних котлів;

- розроблені алгоритми захисту пароводяного, газового тракту пиловугільних котлів під час простоювання та термічного сушіння їх зовнішніх поверхонь нагрівання, визначені витрати енергії на збереження устаткування енергоблоків 150МВт і з поперечними зв'язками 100МВт;

- на основі розробленої математичної моделі розраховані витрати енергії на термічне сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла ТП-10.

Впровадження результатів роботи здійснено:

- на устаткуванні ДТЕС з енергоблоками 150 МВт та з поперечними зв'язками 100 МВт:

- реалізовано у виробництво методи визначення впливу водяного очищення на процеси корозії зовнішніх поверхонь нагрівання котлів ТП-10 та оптимального часу зупинки котлів ТП-10 і ТП-92 в резерв, схему захисту від корозії зовнішніх поверхонь нагрівання котлів ТП-10 (прогрівання в зимовий період);

- мінімізовані витрати енергії на консервацію пиловугільних котлів ТП-92 та ТП-10, які використані під час нормування техніко-економічних показників зазначеного устаткування;

- на устаткуванні Миронівської ТЕС при визначенні та мінімізації витрат енергії на захист пароводяного тракту і визначенні оптимального часу зупинки котла ТП-230-3 в резерв.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Автору дисертації належить:

- обґрунтування необхідності і постановка задачі зі захисту та підвищення ефективності роботи пиловугільного енергоблоку, що дозволить зменшити втрати енергії, сповільнити корозійні процеси металу під час простоювання;

- розроблення технологій захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котлів під час простоювання та після водяного очищення;

- розроблення методів визначення оптимальних умов технологічних процесів та витрат енергії;

- розроблення алгоритмів захисту пароводяного та газового тракту котлів під час простоювання і термічного сушіння їх зовнішніх поверхонь нагрівання;

- виконання експериментальних досліджень на тепломеханічному устаткуванні відповідно до поставлених задач, аналіз та обробка результатів досліджень;

- створення апроксимуючих функцій залежності розчинності вугільних відкладень від властивостей води та кінцевої фази термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла після водяного очищення.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень та розробок обговорювались на: четвертій Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економії енергії» (м.Львів, 2003р.); п'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енерго- і ресурсоощадності» (м.Дубляни, Львівська обл., 2011р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції

«Енергоефективність в галузях економіки України» (м.Вінниця, 2011р.); третій Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні аспекти роботи енергетики України. Шляхи зменшення впливу на навколишнє середовище» (м.Поляна, Закарпатська обл., 2011р.), четвертій Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні аспекти роботи енергетики України. Шляхи зменшення впливу на навколишнє середовище» (м.Винники, Львівська обл., 2012р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 наукових статей, з них: 7 у науково-технічних журналах (5 з них у фахових виданнях, зокрема 2 одноосібні) і 2 тексти доповідей на міжнародних конференціях (1 з них одноосібна у фаховому виданні). Одержано 3 патенти України на винаходи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел літератури та додатків. Обсяг дисертації становить 170 сторінок і містить 54 рисунки, 15 таблиць, на 15 сторінках список використаних джерел літератури в кількості 144, на 10 сторінках – додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено суть проблеми, обґрунтовано актуальність роботи та сформульовано основну мету та задачі досліджень, показано новизну та практичне значення роботи. Представлено відомості про апробацію за темою роботи.

У першому розділі проведено огляд фахової літератури щодо стану та розвитку енергетики України за останні 20-ть років. Аналізуючи літературні джерела відзначено, що питання збереження від корозії тепломеханічного устаткування ТЕС та підвищення ефективності його роботи на вугіллі є актуальним та важливим.

Теплову енергетику України складають потужні енергоблоки та електростанції з поперечними зв'язками, які введені в експлуатацію у 60-80-ті роки ХХ століття і є фізично зношеними та морально застарілими (більше 80 % потужностей), не відповідають сучасним техніко-економічним та екологічним вимогам. Інтенсивному зношенню основних фондів ТЕС сприяло використання палива погіршеної якості.

У зв'язку з різким спадом промислового виробництва в Україні, починаючи з 1990 р. безперервно знижувалось виробництво електроенергії. За таких умов відсоток виробництва електроенергії ТЕС зменшився з 70 до 45%, а їх коефіцієнт використання встановленої потужності знаходиться на рівні 30-40%.

Не є винятком генеруюче устаткування ДТЕС: енергоблоки потужністю 150МВт та устаткування з поперечними зв'язками потужністю 100МВт, що підтверджено встановленою динамікою зміни основних техніко-економічних показників.

Поряд з тим ТЕС за останні роки суттєво збільшили споживання вітчизняного вугілля. Якщо в 1995 р. ця величина становила 34 %, то в 2006 р. – вже 73 %. На ДТЕС частка вугілля в структурі палива складає 98-99%. Природний газ та мазут в основному використовуються для розпалювання котлів.

Більшість ТЕС запроектовані для роботи на вугіллі і вони є основою теплоенергетики України. На даний час основним паливом ТЕС України є кам'яне вугілля Донецького і Львівсько-Волинського басейнів, запаси якого за оцінками

геологів становлять 90-117 млрд.т. Економічніші та екологічно чистіші первинні енергоносії – нафта та природний газ є дефіцитними в Україні. Єдино доцільним шляхом розвитку паливної бази енергетики є повернення її до використання твердого палива як базового джерела енергії.

Устаткування ТЕС, що простоює, піддається агресивному впливу навколишнього середовища. Зовнішня корозія протікає по всьому газовому тракту котла і основними чинниками, які впливають на її пришвидшення, є: характеристика використаного палива, наявність в ньому сірки, вологість і температура повітря, яке омиває поверхні нагрівання, наявність на них відкладень, їх хімічний склад та властивості, засоби очищення від відкладень.

Залишається не визначеним вплив вугільних відкладень на техніко-економічні показники роботи котла, а також зміну їхніх характеристик під час простоювання котла. Не досліджені критерії ефективного водяного очищення від відкладень та консервації поверхонь нагрівання пилувугільних котлів, а також вплив водяного очищення на процеси корозії металу. Відсутні відповідні методи дослідження зазначених технологічних процесів для енергоблоків 150 МВт та устаткування з поперечними зв'язками 100 МВт.

Відомі термічні способи захисту металу газового тракту котлів за допомогою циркуляції підігрітого повітря здебільшого не враховують конструктивних особливостей деяких типів котлів і не є достатньо ефективні, вимагають встановлення додаткового устаткування.

Необхідно оптимізувати водяне очищення від відкладень зовнішніх поверхонь нагрівання пилувугільних котлів при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля, що дасть змогу зменшити витрати енергії та корозію металу, а також розробити ефективні технологічні способи захисту металу під час простоювання та після водяного очищення. Необхідно визначити витрати енергії на захист генеруючого устаткування потужністю 150 і 100 МВт, при цьому методи обчислення витрат енергії відсутні.

У другому розділі показані нові технологічні схеми захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котла під час простоювання та після водяного очищення шляхом термічного сушіння, а також методи виконання експериментальних досліджень та визначення витрат енергії на збереження тепломеханічного устаткування.

На рис. 1 показано спосіб захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котла за допомогою циркуляції живильної води. Схема працює таким чином. Живильна вода із загальностанційного трубопровода 1 подається в пароводяний контур котла і циркулює по ньому. Віддавши тепло зовнішнім поверхням нагрівання 6, 7, 9, живильна вода через дренажну лінію 12 і додатково встановлений трубопровід 14 відводиться в бак дренажної води 17, звідки дренажною помпою 19 подається в деаератор 20. Таким чином, циркуляція теплоносія здійснюється по замкненому контуру. Відкриття направляючого апарату 25 дає змогу використати самотягу димової труби 27 для перенесення теплоти по газовому контуру котла, і тим самим забезпечити нагрівання повітропідігрівника 24, а також скидати випарувані агресивні компоненти через газопровід 23 в димову трубу 27. Інтенсивнішому

нагріванню поверхонь та залишених відкладень, а також перенесенню теплоти і вилученню агресивних компонентів з котла сприятиме збільшення витрати живильної води та періодичне включення димотяга 26.

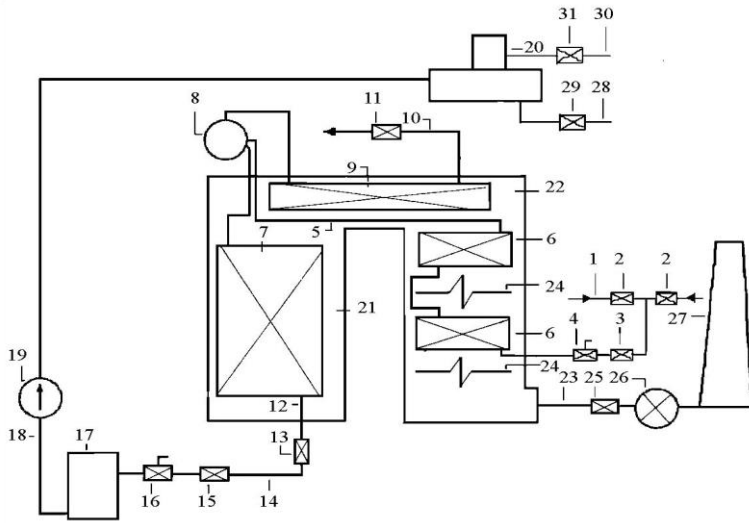


Рис.1. Схема захисту зовнішніх поверхонь котла за допомогою циркуляції живильної води.

1–загальностанційний трубопровід; 2,3,4,11,13,15,16, 29,31–арматура; 5,10,14,18,28,30–трубопровід; 6–економайзер; 7–екранна система; 8–барабан; 9–пароперегрівник; 12–дренажна лінія; 17–бак дренажної води; 19–дренажна помпа; 20–деаератор; 21–паливня; 22–конвективна шахта; 23–газопровід; 24–повітропідігрівник; 25–направляючий апарат; 26–димотяг; 27–димова труба.

Вибір схеми захисту залежить від конструктивних особливостей котла та реальних можливостей впровадження.

На рис.2 показана схема захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котла під час простоювання за допомогою циркуляції низькопотенційної деаерованої води. Деаерована вода, віддавши тепло, через додатково встановлений трубопровід 15 відводиться в бак дренажної води 18, звідки дренажною помпою 20 подається в деаератор 14. Перенесення теплоти і вилучення агресивних компонентів з котла здійснюється за допомогою самотяги димової труби 27 або періодичного включення димотяга 26.

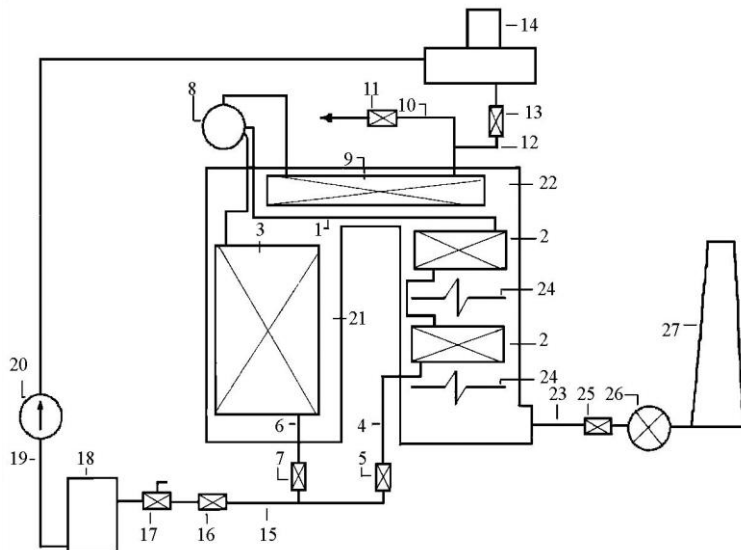


Рис.2. Схема захисту зовнішніх поверхонь котла за допомогою циркуляції деаерованої води.

1,10,12,15,19–трубопровід; 2–економайзер; 3–екранна система; 4,6–дренажна лінія; 5,7,11,13,16, 17–арматура; 8–барабан; 9–пароперегрівник; 14–деаератор; 18–бак дренажної води; 20–дренажна помпа; 21–паливня; 22–конвективна шахта; 23–газопровід; 24–повітропідігрівник; 25–направляючий апарат; 26–димотяг; 27–димова труба.

На рис.3 показана схема захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котла з використанням підігрітого повітря стороннього джерела (працюючого котла). В результаті перемішування холодного та гарячого повітря від стороннього джерела досягається необхідна температура робочого повітря, яке за допомогою дуттєвого вентилятора 3 та додатково встановленого трубопровода 21 циркулює по замкненому контуру (повітряна сторона повітропідігрівника 4, паливня 7, конвективна шахта 10, дуттєвий вентилятор 3), забезпечуючи у цьому випадку випаровування агресивних компонентів.

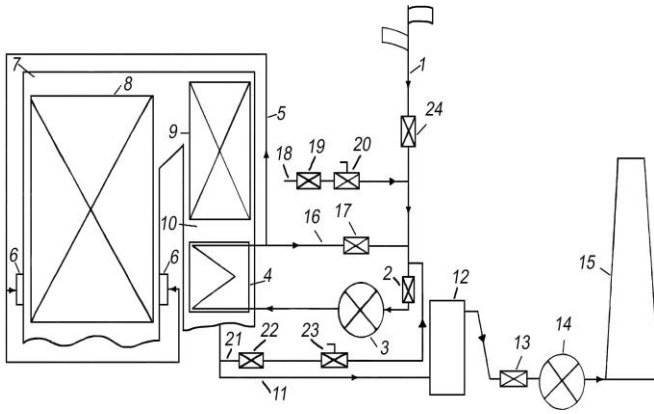


Рис.3. Схема захисту зовнішніх поверхонь та газоходів котла підігрітим повітрям.

1–всмоктуючий повітряний короб; 17,19,20, 23,24–арматура; 3–дутьтєвий вентилятор; 4–повітропідігрівник; 5–короб гарячого повітря; 6–паливники; 7–паливня; 8–екранна система; 9–конвективні поверхні нагрівання; 10–конвективна шахта; 11–газохід; 12–золоуловлювачі; 2,13–направляючий апарат; 14–димотяг; 15–димова труба; 16–повітропровід рециркуляції гарячого повітря; 18–додатково встановлений повітропровід гарячого повітря від стороннього джерела; 21–додатково встановлений трубопровід; 22–рециркуляція-сушіння.

ний час зупинки котла в резерв визначається таким чином:

1. Визначається вплив занесення поверхонь нагрівання золотими відкладеннями на техніко-економічні показники роботи котла (генеруючої установки), у т.ч. в грошовому еквівалентному виразі $K_{\text{втр}}^{\text{зан}}$.

Вплив золотих відкладень на ефективність роботи котла (генеруючої одиниці) визначається по зміні в часі таких експлуатаційних показників: питомих витрат електроенергії на тягодутьтєві механізми $\Delta e_{\text{тдм}}$; температури відхідних газів $\Delta t_{\text{вг}}$; питомої витрати умовного палива δb_e ; викидів забруднюючих речовин. При цьому враховується зміна присмоктів холодного повітря в конвективну частину котла Δa .

Зміна питомої витрати умовного палива за період експлуатації котла (генеруючої одиниці) є функцією вищезазначених параметрів:

$$\delta b_e = f(\Delta t_{\text{вг}}, \Delta e_{\text{тдм}}, \Delta a) \quad (1)$$

2. Визначаються витрати коштів (енергії) на виведення котла в резерв $K_{\text{зуп}}$, зокрема: пуск додаткового котла (генеруючої установки); очищення та термічне сушіння поверхонь нагрівання; усунення присмоктів холодного повітря.

3. Зупинка котла здійснюється за умови $K_{\text{втр}}^{\text{зан}} \approx K_{\text{зуп}}$.

На практиці застосовується водяне очищення зовнішніх поверхонь нагрівання пилувугільного котла від відкладень, вплив якого на процеси корозії недостатньо вивчений. Розроблений відповідний метод з визначення впливу водяного очищення на швидкість корозії металу за допомогою дослідних індикаторів. Індикатори (матеріал – вуглецева сталь 3) встановлюються в газовий тракт котла на тривалий період експлуатації з частими зупинками в резерв, під час яких здійснюється обмивання поверхонь нагрівання.

Після деякого періоду роботи схеми, коли повітря буде насиченим агресивними газами, останнє скидається в димову трубу 15, для чого включається в роботу димотяг 14.

Запропоновані схеми дозволяють максимально використовувати генеруюче устаткування.

В процесі експлуатації котла на поверхнях нагрівання нагромаджуються золоті відкладення, що призводить до погіршення техніко-економічних показників роботи котла та завдяки погіршенню теплообмінного процесу – до небезпечного підвищення температури металу поверхонь нагрівання, а отже до активізації корозійних процесів. Згідно з розробленим методом оптималь-

Питома маса продуктів корозії індикатора q визначається за формулою:

$$q = (A-B)/S, \text{ г/м}^2, \quad (2)$$

де A – маса індикатора до встановлення в котел, г;

B – маса індикатора після зняття з котла, г; S – площа очищеної поверхні, м^2 .

Масова швидкість корозії металу визначається за формулою:

$$W_{\text{кор}} = q/T_{\text{п}}, \text{ г/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})}, \quad (3)$$

де $T_{\text{п}}$ – час перебування індикатора в котлі, год.,

або:

$$W_{\text{кор}} = \frac{q}{2 \cdot \gamma} \cdot \frac{8760}{T_{\text{п}}}, \text{ мм/рік}, \quad (4)$$

де γ – густина індикатора, кг/м^3 .

Показник інтенсифікації корозійних процесів металу в результаті водяного очищення поверхонь котла визначається за формулою:

$$I_{\text{кор}} = W_{\text{кор}}^{\text{p3}} / W_{\text{кор}}^{\text{c3}}, \quad (5)$$

де $W_{\text{кор}}^{\text{p3}}$ і $W_{\text{кор}}^{\text{c3}}$ – швидкість корозії металу індикатора робочої і сухої зони відповідно.

Водяне очищення зовнішніх поверхонь нагрівання котлів повинно відповідати критеріям ефективності та малозатратності. Відповідно до розробленого методу встановлюється технологія очищення з врахуванням властивостей відкладень та очищувальних засобів, зокрема:

- експериментально в лабораторних умовах визначається вплив температури та лужності обмивальної води на розчинність відкладень:

$$P = f(T_{\text{в}}, L_{\text{в}}), \quad (6)$$

де $T_{\text{в}}$ – температура обмивальної води; $L_{\text{в}}$ – лужність обмивальної води.

- ефективність водяного очищення оцінюється за такими параметрами стічних вод як кислотність та вміст сухого залишку. Значення цих параметрів, за яких закінчується очищення поверхонь, необхідно визначати експериментальним шляхом. В процесі водяного очищення проби стічної води відбираються з газоходу котла за останньою поверхнею нагрівання через окремо змонтовану дренажну лінію.

Під час термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла за допомогою циркуляції живильної води (за розробленою схемою, яка показана на рис.1) витрачається енергія, яка визначається згідно з розробленим методом:

- витрата теплової енергії:

$$Q_{\text{тс}} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} G_{\text{тс}}^j \cdot (i_1^j - i_2^j)}{n} \cdot T_{\text{тс}} \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж}, \quad (7)$$

де n – кількість виконаних замірів; $G_{\text{тс}}^j$ – витрата теплоносія, кг/год.; i_1^j і i_2^j – ентальпія теплоносія на вході в котел та на виході з нього, кДж/кг; $T_{\text{тс}}$ – тривалість термічного сушіння, год.

- витрата електроенергії:

$$E_{\text{тс}} = E_{\text{жп}} + E_{\text{дп}} + E_{\text{дт}}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}, \quad (8)$$

де $E_{\text{жп}}$, $E_{\text{дп}}$, $E_{\text{дт}}$ – витрата електроенергії на прокачування теплоносія живильною помпою, відкачування відпрацьованої води в деаератор дренажною помпою та вилучення агресивних речовин (вологи) з газового тракту котла димотягом, кВт·год.

Кількість вологи, вилученої з котла під час термічного сушіння:

$$M = M_{\text{г}} - M_{\text{ф}}, \text{ кг}, \quad (9)$$

де $M_{\text{г}}$ – маса вологи, яка пройшла через газохід за останньою поверхнею нагрівання, кг, визначається з графіків отриманих залежностей в результаті експерименту; $M_{\text{ф}}$ – маса вологи фону, яка пройшла через газохід, кг, визначається за формулою:

$$M_{\text{ф}} = u \cdot S \cdot T_{\text{дт}} \cdot \rho_{\text{фон}} / 1000, \text{ кг}, \quad (10)$$

де u – швидкість повітря в газоході, м/с; S – площа поперечного перерізу газоходу, м²; $T_{\text{дт}}$ – час роботи димотяга, с; $\rho_{\text{фон}}$ – вологість фону, г/м³.

Під час проведення гідрозинно-аміачної консервації внутрішніх поверхонь нагрівання котла наявні втрати енергії, які визначаються згідно з розробленим методом:

- сумарна втрата теплоенергії під час продування нижніх точок котла:

$$Q_{\text{пр}}^c = \int_{j=1}^{j=n} D_{\text{пр}}^j \cdot i_{\text{кв}}^j \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж}, \quad (11)$$

де n – кількість продувань; $D_{\text{пр}}^j$ – втрата продувальної води за одне продування, кг, визначається за формулою витікання рідини з посудини через малий отвір в атмосферу; $i_{\text{кв}}^j$ – ентальпія котлової води, кДж/кг.

• після пасивації пароводяний тракт котла спорожняється від води, втрата якої дорівнює об'єму пароводяного тракту:

$$V_{\text{к}} = \sum_{i=1}^{i=m} V_i, \text{ м}^3, \quad (12)$$

де m – кількість поверхонь; V_i – об'єм i -ої поверхні нагрівання котла, м³.

Витрати енергії на консервацію з надлишковим тиском внутрішніх поверхонь нагрівання котла визначаються таким чином:

- витрати електроенергії:

$$E = (P_{дв} \cdot K_{дв} + P_{дт} \cdot K_{дт}) \cdot T_{к} + P_{дп} \cdot K_{дп} \cdot T_{дп}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}, \quad (13)$$

де $P_{дв}$, $P_{дт}$, $P_{дп}$ – потужність дуттєвого вентилятора, димотяга та дренажної помпи, кВт; $K_{дв}$, $K_{дт}$, $K_{дп}$ – коефіцієнт завантаження механізму; $T_{к}$ і $T_{дп}$ – тривалість консервації і роботи дренажної помпи, год.

- витрата природного газу:

$$V_{г} = V_{г}^{сер} \cdot T_{к}, \text{ нм}^3, \quad (14)$$

де $V_{г}^{сер}$ – середньогодинна витрата природного газу, нм³/год.

Одним з важливих етапів під час підготовки до пуску енергоблока є гідравлічні випробування пароводяного тракту котла. Відповідно до розробленого методу гідравлічні випробування котла умовно поділяються на два етапи: заповнення пароводяного тракту водою помпою з баку запасного конденсату (БЗК) та створення живильною помпою тиску 1,25 робочого в пароводяному тракті.

Витрати електроенергії визначаються за формулою:

$$E_{гидр} = P_{жп} \cdot K_{жп} \cdot T_{жп} + P_{бзк} \cdot K_{бзк} \cdot T_{бзк} + P_{кп} \cdot K_{кп} \cdot T_{кп}, \text{ кВт} \cdot \text{год.}, \quad (15)$$

де $P_{жп}$, $P_{бзк}$, $P_{кп}$ – потужність живильної помпи, помпи БЗК та конденсатної помпи, кВт; $K_{жп}$, $K_{бзк}$, $K_{кп}$ – коефіцієнт завантаження помп; $T_{жп}$, $T_{бзк}$, $T_{кп}$ – тривалість роботи помп, год.

У третьому розділі подані результати експериментальних досліджень процесів золотого занесення, очищення та корозії зовнішніх поверхонь нагрівання пилувугільних котлів ТП-10 і ТП-92.

За результатами експериментальних досліджень визначено вплив золотих відкладень на показники роботи котла ТП-10 і генеруючої одиниці в цілому. Середньоексплуатаційне погіршення показників після 600-816 год. роботи котла при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля таке: питомої витрати електроенергії на тягодуттєві механізми $\Delta e_{тдм}^c$ на 0,036-0,05 кВт·год./ГДж, коефіцієнта корисної дії бруто котла $\Delta \eta_{к}^c$ на 0,0825-0,11%, і відповідно питомої витрати умовного палива δb_e^c – на 0,142-0,192 %.

Експериментальні дослідження підтвердили гігроскопічність відкладень на поверхнях нагрівання котла ТП-10 і зростання в часі їхньої агресивності. Вугільні відкладення після зупинки котла є кислими і на це впливає температура та наявність вологи. Навіть при високій температурі повітря в 40 °С і малій відносній вологості в 6 % кислотність відкладень після 2 діб зупинки котла є достатньо високою і становить 6,47 мг-екв/дм³. За таких умов котел не можна залишати неочищеним на довгий період, необхідно проводити консервацію поверхонь нагрівання.

Виконані лабораторні дослідження золотих відкладень встановили наступне. При нагріванні вологих відкладень разом з вологою відбувається і випаровування кислоти, що призводить до її зменшення у відкладеннях (рис.4). При збільшенні кількості відкладень у розчині кислотність останнього зростає (рис.5). Таким чином, на погано обмитих або не обмитих від відкладень поверхнях нагрівання корозійні процеси пришвидшуються в результаті взаємодії наявних компонентів з утворенням

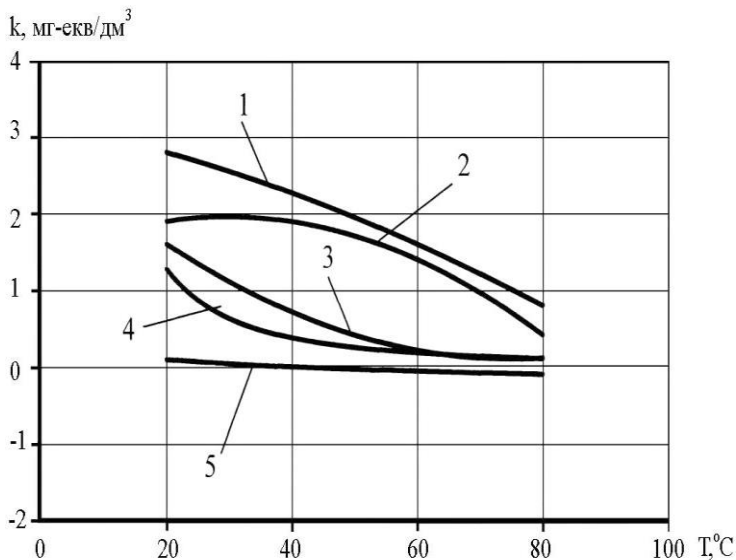


Рис.4. Вплив температури T на кислотність k відкладень котла ТП-10 ст.№9.

1–конвективний пароперегрівник; 2–повітропідігрівник II ступеня; 3–економайзер II ступеня; 4–скляний повітропідігрівник; 5–збірний короб золоуловлювачів.

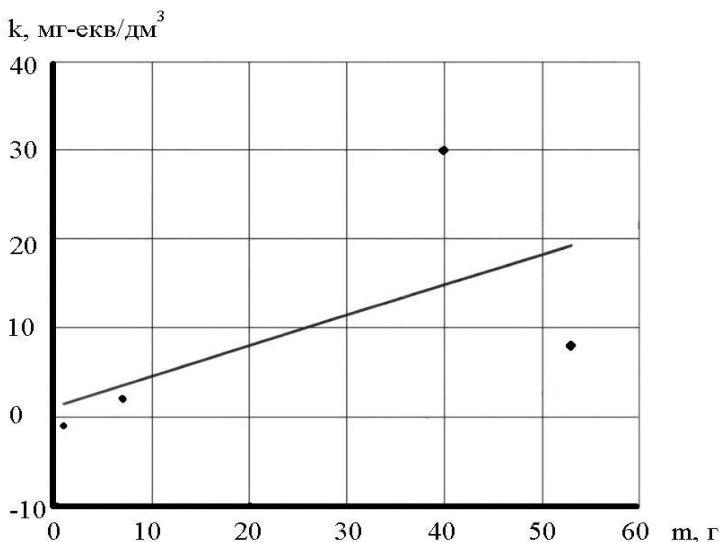


Рис.5. Залежність кислотності k розчину від кількості відкладень m скляного повітропідігрівника котла ТП-10 ст.№9.

рівняння у вигляді логарифмічної функції залежності розчинності відкладень (P) від температури води (T_B) в діапазоні 20-60 °С для поверхонь нагрівання:

- конвективного пароперегрівника:

$$P = -2,217 \cdot \ln T_B + 16,039, \quad (16)$$

- скляного повітропідігрівника:

$$P = -1,439 \cdot \ln T_B + 11,738, \quad (17)$$

- економайзера II ступеня:

$$P = -0,444 \cdot \ln T_B + 6,898. \quad (18)$$

сірчаної кислоти. За відсутності способів сушіння, краще після обмивання котел ввести в експлуатацію. У цьому випадку слід очікувати пришвидшення занесення поверхонь нагрівання золовими відкладеннями.

На практиці важливо правильно вибрати технологію очищення, тобто врахувати як характеристики відкладень, так і очищувальних засобів. Виконані дослідження свідчать, що розчинність відкладень поверхонь повітропідігрівника котла ТП-10, в якому спалювалося Львівсько-Волинське вугілля, зменшується при підвищенні температури води: при її нагріванні з 20 до 60 °С розчинність зменшилась з 7,4 до 5,8 %. Також погіршується розчинність відкладень під час додавання до води луку (в 1,9 рази при зміні лужності від 0 до 1,5 %), який використовується для нейтралізації кислотності. Це зумовлено наявністю у відкладеннях сульфатів кальцію, які частково гідратуються і перетворюються на гіпс.

За допомогою методу апроксимації виконано математичну обробку результатів натурального експерименту і отримано

Аналогічно виконано математичну обробку результатів натурального експерименту і отримано рівняння у вигляді поліноміальної функції залежності розчинності (Р) відкладень від вмісту луку у воді (L_B) для поверхонь нагрівання:

- конвективного пароперегрівника:

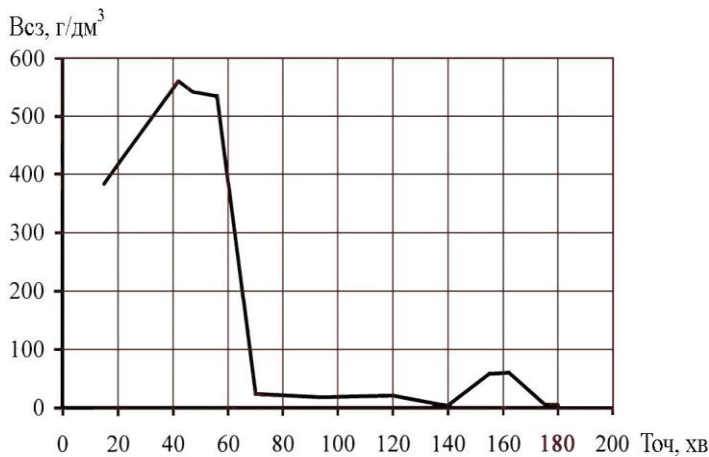
$$P = 9,4902 - 3,978 \cdot L_B + 0,789 \cdot L_B^2, \quad (19)$$

- скляного повітропідігрівника:

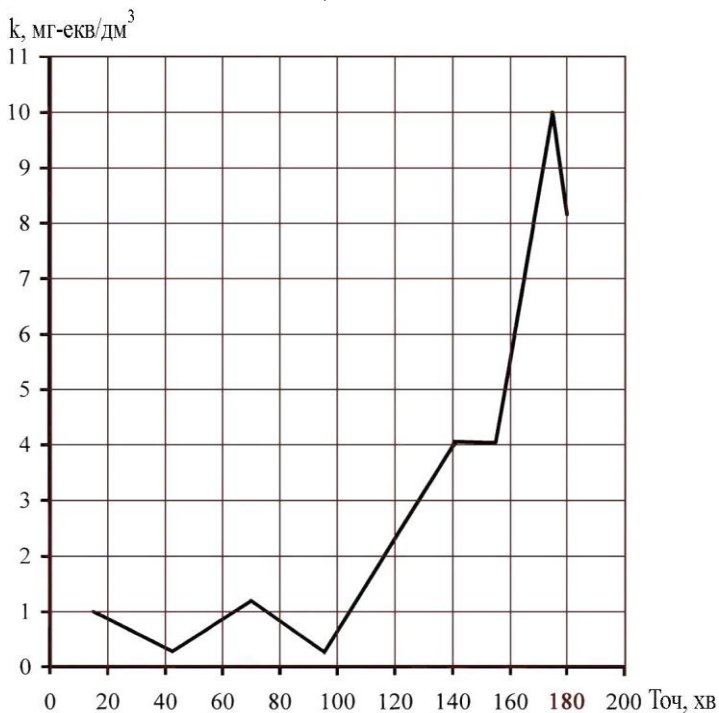
$$P = 7,438 - 5,126 \cdot L_B + 1,8503 \cdot L_B^2, \quad (20)$$

- економайзера II ступеня:

$$P = 5,5408 - 3,085 \cdot L_B + 1,678 \cdot L_B^2. \quad (21)$$



а)



б)

Рис.6. Зміна сухого залишку Всз в стічних водах (а) і їх кислотності к (б) під час обмивання поверхонь нагрівання котла ТП-10 ст. №9.

Зазначені функції дозволяють прогнозувати залежності розчинності відкладень від температури та лужності води.

Одержані результати досліджень над вугільними відкладеннями були використані для розробки заходів з підвищення надійності поверхонь нагрівання котлів типу ТП-10 і ТП-92, тобто для гальмування корозійних процесів на них, зокрема: водяне очищення повинно контролюватись за відповідними показниками і його необхідно проводити наявною водою без додаткового підігрівання та додавання луку.

На підставі експериментальних даних водяного очищення від вугільних відкладень поверхонь нагрівання конвективної шахти котлів ТП-10 встановлено, що якість водяного очищення слід оцінювати за вмістом сухого залишку в стічних водах та їх кислотності (рис.6).

З огляду на те, що тривалість водяного очищення залежить від ступені занесення поверхонь нагрівання, умовами його оптимального проведення є досягнення вмісту сухого залишку в стічних водах 10-20 г/дм³ та

кислотності 10-20 мг-екв/дм³. Оскільки при всіх водяних очищеннях не вдалось нейтралізувати золіві відкладення та враховуючи нагромадження вологи на поверхнях нагрівання, необхідно застосовувати термічне сушіння останніх.

Затрати на водяне очищення поверхонь нагрівання конвективної шахти котла ТП-10: годинна витрата електроенергії – 7,8 кВт·год., заробітна плата персоналу – 256 грн./год.; для котла ТП-92: годинна витрата електроенергії – 11,7 кВт·год., заробітна плата персоналу – 320 грн./год.

За результатами експериментальних досліджень на котлах ТП-10, які спалювали в основному кам'яне вугілля Львівсько-Волинського басейну з калорійністю 21160 кДж/кг та вмістом сірки 2,36%, встановлено, що водяне обмивання підвищило швидкість корозії металу – інтенсифікація корозійних процесів $I_{кор}$ в 1,6 рази. В результаті проведених водяних очищень на котлі ТП-10 корозія металу перейшла з категорії «середня» в категорію «сильна», що підтверджує необхідність обов'язкового проведення заходів зі збереження устаткування.

Виконані розрахунки підтвердили економічну доцільність проведення водяного очищення з наступним термічним сушінням зовнішніх поверхонь нагрівання котла ТП-10 при його роботі на проектному вугіллі з навантаженням близьким до номінального після 789 годин роботи.

В четвертому розділі представлений алгоритм захисту пароводяного та газового тракту котла під час простоювання (рис.7). Наведені результати експериментальних досліджень термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання



Рис.7. Алгоритм захисту котла під час простоювання.

котла ТП-10 завдяки циркуляції живильної води, а також результати експериментального та розрахункового визначення витрат енергії на збереження генеруючого устаткування потужністю 150 і 100 МВт під час простоювання.

За результатами експериментальних досліджень та встановлених закономірностей розроблено алгоритм процесу термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла ТП-10 після водяного обмивання з визначеними параметрами. Процес сушіння проходить в три етапи:

1. Сушіння трубних поверхонь економайзера під час проходження через нього живильної води. В результаті тепломасообміну труби нагріваються до температури 80-100 °С, прогрівається оточуючий повітряний простір, з поверхонь випаровується волога.

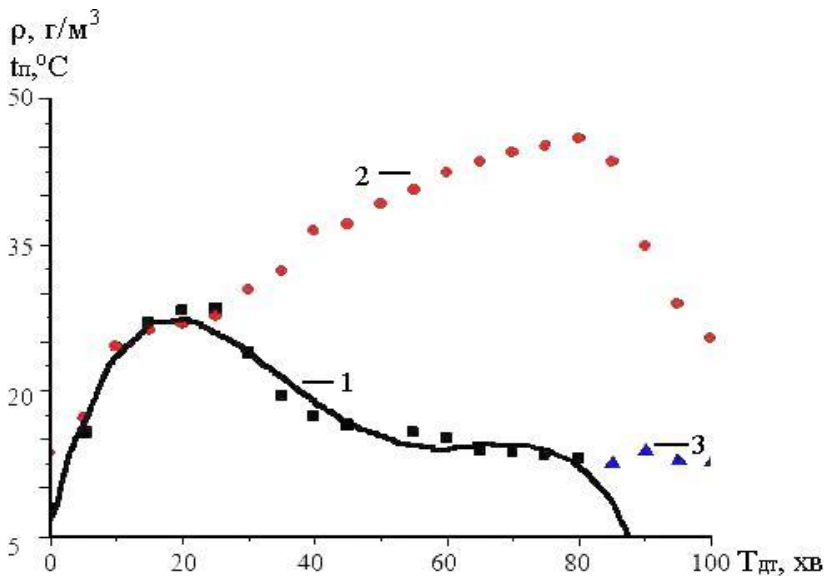


Рис.8. Залежність абсолютної вологості ρ та температури повітря t_p за останньою поверхнею котла ТП-10 під час роботи димотяга $T_{дт}$. 1-вологість; 2-температура; 3-вологість після вимкнення димотяга.

2. Нагрівання та підсушування поверхонь нагрівання в результаті природної циркуляції по газовому тракту нагрітого повітря за рахунок самотяги димової труби та тепломасообміну.

3. Інтенсивне сушіння поверхонь нагрівання і вилучення з нього вологи в результаті включення димотяга на 70-80 хв. Зміна вологості відпрацьованого повітря характеризує процес термічного сушіння поверхонь котла (рис.8).

Зміна абсолютної вологості повітря в котлі ТП-10 під час роботи димотяга в процесі

термічного сушіння поверхонь можна описати рівнянням:

- для дослідів після 2-го обмивання:

$$\rho = 6,95714 + 2,66333 \cdot T_{дт} - 0,11017 \cdot T_{дт}^2 + 0,00153 \cdot T_{дт}^3 - 5,72716 \cdot 10^{-6} \cdot T_{дт}^4 - 1,56037 \cdot 10^{-8} \cdot T_{дт}^5, \quad (22)$$

де ρ – абсолютна вологість повітря, г/м³, $T_{дт}$ – час роботи димотяга, хв;

- для дослідів після 4-го обмивання:

$$\rho = 9,12324 + 1,90105 \cdot T_{дт} - 0,1557 \cdot T_{дт}^2 + 0,00639 \cdot T_{дт}^3 - 1,43104 \cdot 10^{-4} \cdot T_{дт}^4 + 1,61093 \cdot 10^{-6} \cdot T_{дт}^5 + 7,07499 \cdot 10^{-9} \cdot T_{дт}^6 \quad (23)$$

Витрати теплоенергії на сушіння поверхонь нагрівання котла ТП-10 становлять 40-50 ГДж, електроенергії – 1000-1100 кВт·год., тривалість сушіння – 7-9 год.

На основі експериментальних даних отримана апробована функціональна залежність кінцевої фази процесу термічного сушіння, за якою можна оцінити тривалість сушіння, а саме час роботи димотяга після проходження максимуму вологості за різних величин кінцевого значення абсолютної вологості в газоході котла, а також від вологості фону:

$$(\rho - \rho_{\text{фон}})/(\rho_{\text{макс}} - \rho_{\text{фон}}) = 0,0101 + 0,990 \cdot e^{-T_{\text{дт}}/37,3}, \quad (24)$$

де $\rho_{\text{фон}}$ – вологість фону, $\text{г}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{макс}}$ – максимальна вологість повітря в газоході котла, $\text{г}/\text{м}^3$.

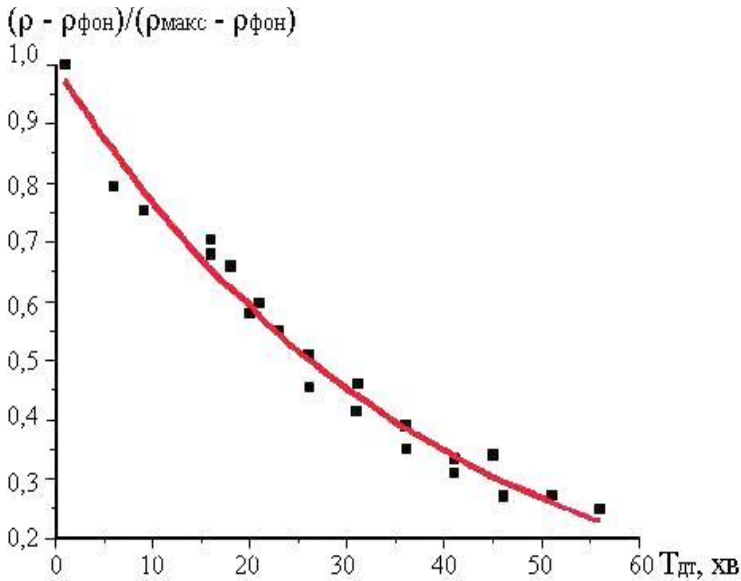


Рис. 9. Залежність спаду вологості від тривалості роботи димотяга $T_{\text{дт}}$ (2-е і 4-е обмивання)

На рис.9 показано хід нормованих значень вологості як функції часу, нульовий відлік якого співпадає з моментом проходження $\rho_{\text{макс}}$.

Тривалість роботи димотяга після проходження піку вологості в газоході в залежності від вологи фону при умові, що кінцеве значення вологості ρ в котлі буде дорівнювати $1,4 \rho_{\text{фон}}$, можна визначити по рис.10. Графіки на рис.11 дозволяють визначити тривалість роботи димотяга після проходження піку вологості в газоході в залежності від бажаної кінцевої абсолютної

вологості при різних значеннях фону і при $\rho_{\text{макс}} = 25 \text{ г}/\text{м}^3$.

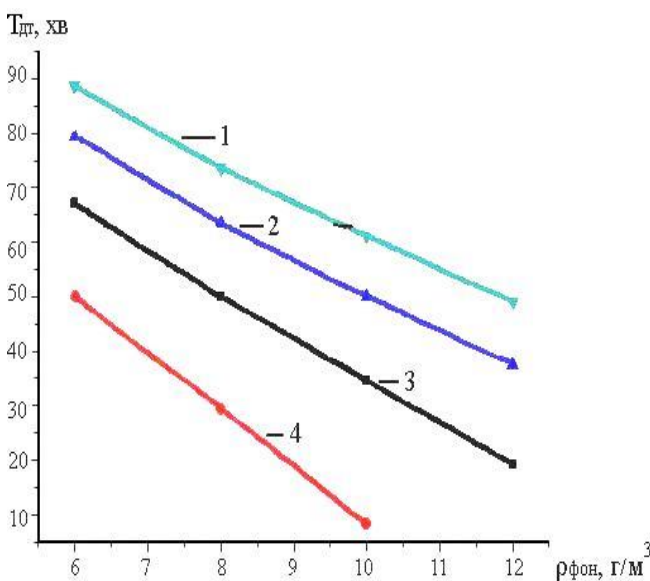


Рис.10. Залежність тривалості роботи димотяга $T_{\text{дт}}$ від вологи фону $\rho_{\text{фон}}$ (при $\rho = 1,4 \rho_{\text{фон}}$).
1– $\rho_{\text{макс}} = 25 \text{ г}/\text{м}^3$; 2– $\rho_{\text{макс}} = 20 \text{ г}/\text{м}^3$; 3– $\rho_{\text{макс}} = 15 \text{ г}/\text{м}^3$;
4– $\rho_{\text{макс}} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$.

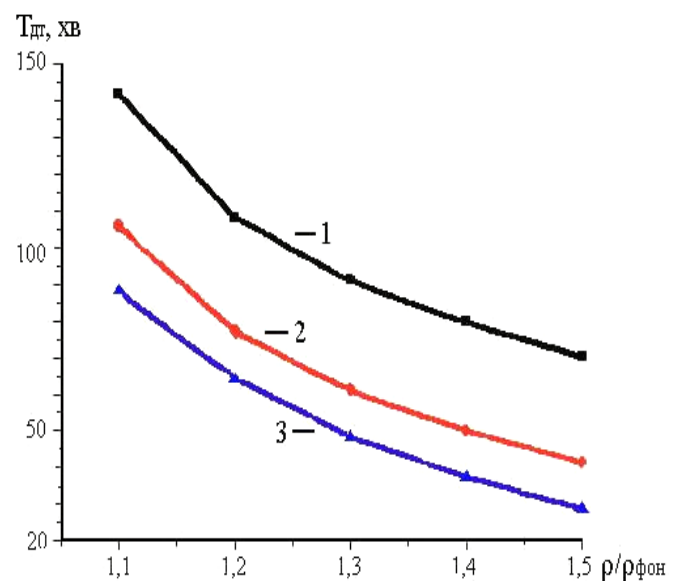


Рис. 11. Залежність тривалості роботи димотяга $T_{\text{дт}}$ від кінцевої вологи в котлі (при $\rho_{\text{макс}} = 25 \text{ г}/\text{м}^3$).
1– $\rho_{\text{фон}} = 12 \text{ г}/\text{м}^3$; 2– $\rho_{\text{фон}} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$; 3– $\rho_{\text{фон}} = 6 \text{ г}/\text{м}^3$.

Встановлено, що контрольним показником в газовому тракті котла під час простоювання (після водяного очищення) є абсолютна вологість повітря.

Визначено кількість вилученої вологи з котла ТП-10 в результаті термічного сушіння, середнє значення якої складає приблизно 2700 кг.

Експериментальним та розрахунковим шляхом визначено витрати енергії на гідразинно-аміачну консервацію внутрішніх поверхонь котлів ТП-92 і ТП-10:

- для котла ТП-92: теплової енергії – 52,9 ГДж, знесоленої води – 170,8 м³;
- для котла ТП-10: теплової енергії – 28,7 ГДж, знесоленої води – 66,6 м³.

Витрата електроенергії на гідравлічне випробування котла ТП-92 становить 1818-2724 кВт·год. Витрати на консервацію з надлишковим тиском внутрішніх поверхонь котла ТП-10 становлять 1394 кВт·год. електроенергії та 21 туп.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В дисертаційній роботі на основі аналізу фактичних режимів експлуатації та простоювання вирішена задача збереження та підвищення ефективності устаткування ТЕС з енергоблоками 150МВт та з поперечними зв'язками 100МВт.

2. Показано, що схеми захисту зовнішніх поверхонь нагрівання котлів за допомогою термічного сушіння повітрям, нагрітим у калориферах, є недостатньо ефективні. Цю проблему можна вирішити за допомогою розроблених нових ефективніших схем захисту з використанням гарячої води та підігрітого повітря стороннього джерела.

3. Розроблено алгоритм захисту пароводяного, газового тракту котлів під час простоювання та термічного сушіння їх зовнішніх поверхонь нагрівання. Розроблено методи визначення: оптимального часу зупинки котла в резерв для проведення водяного очищення; його впливу на швидкість корозії металу; кількості вологи, вилученої з котла в результаті термічного сушіння поверхонь; витрат енергії на захист устаткування.

4. Визначено вплив занесення відкладеннями зовнішніх поверхонь нагрівання котла ТП-10 на питомі витрати умовного палива генеруючої установки. Після 600-816 год. роботи зростання питомої витрати становить 0,142-0,192 %.

5. Показано вплив водяного очищення на корозію металу зовнішніх поверхонь нагрівання котла при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля. Встановлено, що корозійні процеси пришвидшуються особливо тоді, коли не проводиться консервація – сушіння вологих поверхонь, погано очищених, а також при збільшенні тривалості простоювання. Підтверджено зростання в часі агресивності вугільних відкладень в котлі після його зупинки.

6. Експериментально встановлено критерії ефективного водяного очищення та термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля, зокрема: процеси обмивання погіршуються зі збільшенням температури та лужності води; зі збільшенням температури відбувається випаровування агресивних сполук з відкладень. Вперше визначено апроксимуючі функції залежності розчинності вугільних відкладень від температури води та вмісту луку у воді.

7. Експериментально на котлі ТП-10 встановлено оптимальні параметри водяного очищення зовнішніх поверхонь нагрівання котла від вугільних відкладень – вміст сухого залишку в стічних водах 10-20 г/дм³ та їх кислотність 10-20 мг-екв/дм³. З огляду на невелику кислотність вугільних відкладень немає необхідності в нейтралізації лужним розчином, але необхідно застосувати термічне сушіння поверхонь.

8. Експериментально визначено витрати енергії на термічне сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла ТП-10 за допомогою циркуляції гарячої води: витрати теплової енергії становлять 40-50 ГДж, електричної енергії – 1000-1100 кВт·год. Встановлено, що контрольним показником стоянкової корозії в газовому тракці котла є абсолютна вологість повітря, а не відносна. Проведена оцінка маси вологи, яка виноситься з котла ТП-10 при термічному сушінні.

9. Розроблено та апробовано функціональну залежність кінцевої фази термічного сушіння зовнішніх поверхонь котла ТП-10, що дає можливість визначити його тривалість і тим самим мінімізувати витрати енергії. Встановлено, що економічний ефект для котла ТП-10 в результаті застосування термічного сушіння після водяних очищень становить 18,0 тис.грн./рік. Вперше визначено витрати енергії на консервацію котлів ТП-10 і ТП-92.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Брикайло Р.В. Дослідження характеристик вугільних відкладень та корозійних процесів на поверхнях нагрівання енергетичних котлів під час простоювання/ Р.В. Брикайло// Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: збірник наукових праць. – Рівне. – 2010. – №1(49). – С.150-160.

2. Брикайло Р.В. Експлуатація пилосистем «прямого дуття» з середньохідними млинами 6М75U на Добротвірській ТЕС/ Р.В. Брикайло// Енергетика та електрифікація. – Київ. – 2010. – №5. – С.42-46.

3. Брикайло Р.В. Сучасний стан теплогенеруючого обладнання України та його захист під час простоювання/ Р.В. Брикайло// Енергетика та електрифікація: збірник матеріалів III міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні аспекти роботи енергетики України. Шляхи зменшення негативного впливу на навколишнє середовище». – Київ. – 2012. – №4. – С.25-29.

4. Брикайло Р.В. Збереження устаткування енергоблоків потужністю 150 МВт під час простоювання/ Р.В. Брикайло, Й.С. Мисак //Енергетика та електрифікація. – 2007. – №12. – С.27-34. *(Аналіз стану тепломеханічного устаткування, виконання розрахунків з визначення витрат енергії на його захист).*

5. Янко П.І. Визначення деяких параметрів впливу на очищення і консервацію поверхонь нагрівання пилувугільних котлів/ П.І. Янко, Й.С. Мисак, Р.В. Брикайло// Енергетика та електрифікація. – Київ. – 2008. – №10. – С.7-10. *(Виконання експериментальних досліджень, узагальнення результатів та формування рекомендацій ефективного захисту поверхонь нагрівання).*

6. Мисак Й.С. Корозія поверхонь нагрівання котлів під час їхнього простоювання/ Й.С. Мисак, Є.М. Якимів, Р.В. Брикайло, П.І. Янко// Теплоенергетика: збірник наукових статей до 110-ї річниці кафедри ТіТЕС. – Львів. – 2008. – С.57-61. *(Аналіз протікання корозійних процесів, розробка схеми захисту поверхонь нагрівання котла).*

7. Кузик М.П. Сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котлів ТП-10 за допомогою живильної води/ М.П. Кузик, Р.В. Брикайло, Й.С. Мисак// Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2012. – №2/8. – С.12-17. *(Розробка схеми захисту поверхонь нагрівання котла, виконання експериментальних досліджень, отримання графічних залежностей та рівнянь).*

8. Куновський Г.П. Досвід експлуатація млинів МВС-140А і 6М75U на Добротвірській ТЕС/ Г.П. Куновський, Р.В. Брикайло// Збірник матеріалів ІV міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економії енергії». – Львів. – 2003. – С.135-136. *(Аналіз роботи пилувугільного устаткування, розрахунок техніко-економічного обґрунтування).*

9. Мисак Й.С. Про оптимальні умови теплообміну під час зберігання енергетичного устаткування в резерві/ Й.С. Мисак, Є.М. Якимів, Н.М. Лашковська, В.Ф. Близнюк, Я.Ф. Івасик, Р.В. Брикайло, І.А. Демчук // Теплоенергетика: збірник наукових статей до 110-ї річниці кафедри ТіТЕС. – Львів. – 2008. – С.103-108. *(Аналіз літературних джерел за даною тематикою та підготовка матеріалів).*

10. Патент України №81489 UA МПК (2006) F22B 33/00 F23J 15/00. Котельна установка/ Р.В. Брикайло, Г.П. Куновський, Й.С. Мисак// Промислова власність. – №1; заявл. 05.12.2005; опубл. 10.01.2008, Бюл.№1. *(Аналіз пристроїв захисту поверхонь нагрівання).*

11. Патент України №85517 UA МПК (2009) F22B 33/00 F23C 9/00 F23L 15/00. Котельна установка/ Р.В. Брикайло, Й.С. Мисак// Промислова власність. – №2; заявл. 27.03.2007; опубл. 26.01.2009, Бюл.№2. *(Розробка пристрою захисту поверхонь нагрівання).*

12. Патент України №94510 UA МПК (2011.01) F22B 33/00 F23C 9/00 F23L 15/00. Котельна установка/ Р.В. Брикайло, Й.С. Мисак// Промислова власність. – №9; заявл. 23.10.2009; опубл. 10.05.2011, Бюл.№9. *(Розробка пристрою захисту поверхонь нагрівання).*

АНОТАЦІЯ

Брикайло Р.В. Технології захисту устаткування ТЕС з енергоблоками 150МВт та з поперечними зв'язками і методи розрахунку витрат енергії. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2012.

За результатами експериментальних досліджень розроблено алгоритм захисту від корозії пароводяного і газового тракту котла під час простоювання, мінімізовані витрати енергії. Для виконання експериментальних досліджень та визначення витрат енергії на захист тепломеханічного устаткування розроблені відповідні

методи розрахунків. Для збереження зовнішніх поверхонь нагрівання котла під час простоювання та після водяного очищення розроблені схеми захисту з використанням підігрітого повітря та гарячої води стороннього джерела. Визначено критерії ефективного водяного очищення від відкладень та консервації зовнішніх поверхонь нагрівання котла при спалюванні Львівсько-Волинського вугілля і вплив на корозію металу. Розроблена апробована функціональна залежність кінцевої фази термічного сушіння зовнішніх поверхонь котла ТП-10, що забезпечує економію енергії. Основні результати роботи знайшли промислове впровадження на існуючих ТЕС України.

Ключові слова: енергоблок, котел, консервація, корозія, схема захисту, водяне очищення, відкладення, термічне сушіння, простоювання, резерв, поверхні нагрівання, витрати енергії.

АННОТАЦІЯ

Брыкайло Р.В. Технологии защиты оборудования ТЭС с энергоблоками 150 МВт и с поперечными связями и методы расчета расходов энергии. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 - техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. - Национальный университет "Львовская политехника", Львов, 2012.

Диссертационная работа посвящена технологиям защиты оборудования ТЭС с энергоблоками 150 МВт и с поперечными связями и методам расчета расходов энергии.

Во время выполнения диссертационной работы были осуществлены ряд экспериментальных исследований, на основе которых был разработан алгоритм защиты пароводяного и газового тракта котла во время простоя, минимизированы расходы энергии. Для проведения экспериментальных исследований и определения расходов энергии для защиты тепломеханического оборудования разработаны соответствующие методы расчета. Для сохранения внешних поверхностей нагрева котла во время простоя и после водяной очистки разработаны схемы защиты с использованием подогретого воздуха и горячей воды внешнего источника, которые позволяют максимально использовать эксплуатационные схемы действующего оборудования. Разработан метод определения оптимального времени остановки котла в резерв для проведения очистки внешних поверхностей. Определены критерии эффективной водяной очистки от отложений и консервации внешних поверхностей нагрева котла при сжигании Львовско-Волинского угля и его влияние на коррозию металла. Разработана апробированная функциональная зависимость конечной фазы термической сушки внешних поверхностей нагрева котла ТП-10, что обеспечивает экономию энергии. Основные результаты работы нашли промышленное внедрение на существующих тепловых электростанциях Украины.

В первом разделе проведен обзор профессиональной литературы относительно состояния и развития энергетики Украины. Анализируя литературные источники отмечено, что вопрос сохранения от коррозии тепломеханического оборудования

ТЭС и повышение эффективности его работы на угле является актуальным и важным.

Во втором разделе показаны новые технологические схемы защиты внешних поверхностей нагрева котла путем термической сушки, а также методы проведения экспериментальных исследований и определения расходов энергии на сохранение тепломеханического оборудования.

В третьем разделе поданы результаты экспериментальных исследований процессов золотого заноса, очистки и коррозии внешних поверхностей нагрева пылеугольных котлов ТП-10 и ТП-92. Установлены критерии эффективной водяной очистки и термической сушки наружных поверхностей нагрева котла при сжигании Львовско-Волинского угля. Установлено, коррозионные процессы ускоряются особенно тогда, когда не проводится консервация - сушка влажных поверхностей нагрева котла, плохо очищенных.

В четвертом разделе представлен алгоритм защиты пароводяного и газового тракта котла во время простоя. Приведены результаты экспериментальных исследований термической сушки внешних поверхностей нагрева котла ТП-10 благодаря циркуляции питательной воды, а также результаты экспериментального и расчетного определения расходов энергии на сохранение генерирующего оборудования мощностью 150 МВт и с поперечными связями мощностью 100 МВт во время простоя.

Ключевые слова: энергоблок, котел, консервация, коррозия, схема защиты, водяная очистка, отложение, термическая сушка, простой, резерв, поверхности нагрева, расходы энергии.

ANNOTATION

Brykaylo R.V. Technology of protection of equipment of thermal powers with power units 150 MW and with cross connections, methods of calculating of energy losses.- Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical science, specialty 05.14.06 – Engineering Thermal Physics and Industrial Thermal Power. - National University «Lviv Polytechnic». Lviv, 2012.

The algorithm of protection of steam- and gas path of the caldron during its idle was worked out. This algorithm is based on these experimental researches. The energy losses were minimized. For experimental researches and determination of energy losses were worked out proper methods. For the maintaining of external surfaces of heating of caldron during its idle and watery cleaning were worked out protection schemes with using heated air and hot water from an extraneous source. Were determined criteria for effective watery cleaning and conservation of external surfaces of heating of caldron from coal deposits and influence on corrosion of metal. Was tested a functional dependence of final phase of thermal drying of external surfaces of heating of caldron TP -10, it provides the economy of energy. Results of researches were used on the thermal power-stations of Ukraine.

Keywords: unit, caldron, conservation, corrosion, protection scheme, watery cleaning, deposition, thermal drying, idle, reserve, external surfaces, energy losses.