

## СУШІННЯ ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВАННЯ КОТЛІВ ТП-10 ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОТИ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ

© Мисак Й.С., Кузик М.П., 2014

**Розглянуто процедуру водяного миття і подальшого сушіння котла ТП-10. Термічне сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання котла здійснюється подачею в його пароводяний тракт живильної води з загальностанційного трубопроводу.**

**Ключові слова:** миття котлів, сушіння котлів.

**Procedure of aquatic washing and subsequent drying of boilers TP-10 is presented. The thermal drying of external surfaces of heating of boilers is important for serving the steam-aquatic highway of feedwater from the station pipeline. The optimal parameters of the drying process, especially the speed and duration of feeding feedwater were determined.**

**Analytical dependences to describe the dynamics of change in humidity of the drying agent and the output of the gas boiler when turning on the exhauster were developed. Based on these results the time dependence of the removal of water from the boiler was defined.**

**The amount of moisture remaining in the thermal drying boiler TP-10 after its washing was determined. It is approximately 3200-4000 lbs.**

**Key words:** washing of boilers, drying of boilers.

### Постановка проблеми

Серед чинників, які призводять до погіршення техніко-економічних показників роботи пилувугільного котла, особливе місце займає забруднення (занесення) зовнішніх поверхонь нагрівання. Як показали дослідження, після 600–800 год роботи котлів ТП-10 температура відхідних газів зростає на 5–6 °С, а питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії зростає на 0,14–0,19 %.

Практикою експлуатації та проведеними дослідженнями встановлено, що якісно очистити поверхні від відкладень можливо лише за допомогою миття [1]. Існуючі способи очищення – дробове, обдування паром, газове, повітряне тощо не забезпечують необхідну якість, і є ефективними у період між промиваннями. Після миття необхідно провести якісне сушіння усіх зволжених поверхонь котла, щоб мінімізувати вплив низькотемпературної корозії.

### Аналіз останніх досліджень

Існуючі схеми сушіння переважно зорієнтовані на використання підігрітого у калориферах повітря. Але не усі котли обладнані калориферами. У цій ситуації можна використовувати сушіння поверхонь котла подачею живильної води у пароводяний тракт котла [2, 3]. Метод реалізується за допомогою схеми, показаної на рис. 1, і його суть полягає у такому: теплота, передана конвективним теплообміном від живильної води, яка з загальностанційного трубопроводу 1 поступає в пароводяний тракт котла, переміщається по газовому контуру, нагріває зовнішні поверхні нагрівання та залишену на них вологу, яка скеровується за межі котельної установки завдяки включенню димотяга та частково завдяки самотязі димової труби. Живильна вода, віддавши тепло, через дренажну лінію 12 екранної системи 7 і трубопровід 14 відводиться в бак дренажної води 17, звідки дренажною помпою 19 подається в деаератор.

Проте тут розглядалися лише загальні принципи організації подачі живильної води. Не були досліджені режими сушіння, його динаміка та вплив роботи димотяга.

### Постановка завдання

Завданням цієї роботи є встановлення режимів подачі живильної води, а саме: витрати і тривалості подачі живильної води, як першої фази процедури сушіння поверхонь котла. Для

оптимізації процесу сушіння потрібно дослідити його динаміку, а саме, – часову залежність виносу вологи з поверхонь котла. Необхідно вивчити питання тривалості роботи димотяга, як другої фази сушіння та дослідити питання впливу стану (відкриті, закриті) направляючих апаратів (шиберів) димотяга протягом першої фази сушіння. Крім того, окремим та цікавим питанням є визначення орієнтовної кількості води, яка залишається на теплосприймальних поверхнях котла, а також на поверхнях димоходів після промивання.

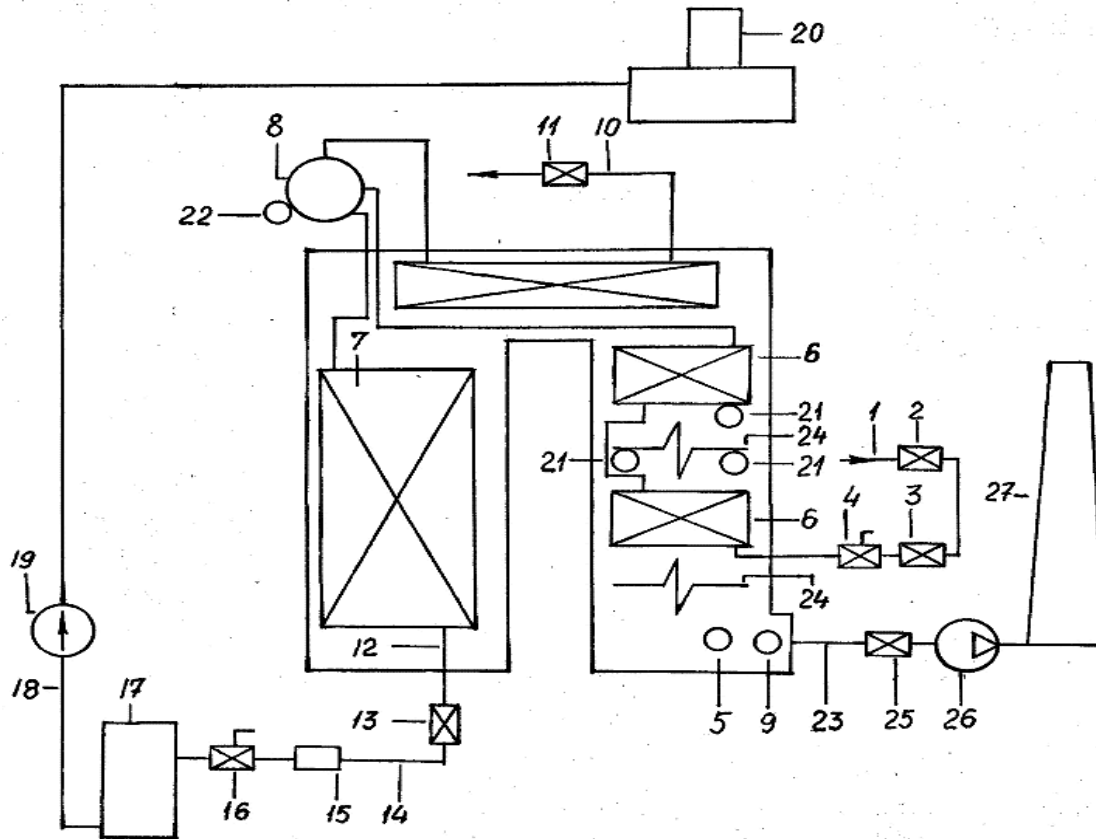


Рис. 1. Схема сушіння та проведення експлуатаційних випробувань:

1 – загальностанційний трубопровід; 2, 3, 11, 13, 25, 29, 31 – запірні арматура (шибери);  
 4, 16 – регульовальна арматура; 5 – термомігрометр; 6 – водяний економайзер; 7 – екранна система;  
 8 – барабан; 9 – термоанемометр; 10 – трубопровід; 12 – дренажна лінія; 14 – додатково встановлений  
 трубопровід; 15 – витратомір; 17 – бак дренажної води; 18 – трубопровід; 19 – дренажна помпа;  
 20 – деаератор; 21 – штатні термомпари в конвективній шахті; 22 – штатна термомпара на корпусі  
 барабана; 23 – газопровід; 24 – рекупераційний повітропідігрівник; 26 – димотяг; 27 – димова труба

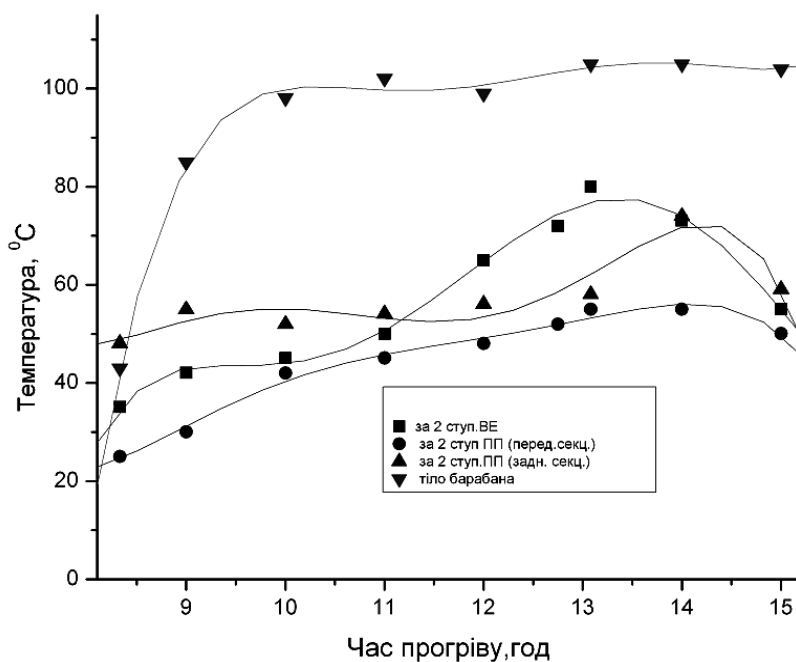
### Виклад основного матеріалу

Для визначення режиму подачі живильної води були проведені пробні випробування за схемою, показаною на рис. 1. Витрата води контролювалась ультразвуковим витратоміром 15 моделі Panometrics PT-1878. Живильна вода з загальностанційного трубопроводу 1 поступає під тиском 110–120 кгс/см<sup>2</sup>, проходить через водяні економайзери 6, барабан 8, екранну систему 7 і зливається вона у дренажний бак 17, який знаходиться під атмосферним тиском. Тобто відбувається сильне дроселювання живильної води, яке супроводжується пароутворенням у пароводяному тракті. Крім того, у пароводяному тракті виникають гідроудари, сильна турбулізація потоку живильної води по усій магістралі, включно до входу у дренажний бак, яка може спотворювати покази ультразвукового витратоміра. Інтенсивність вказаних негативних явищ істотно залежить від швидкості подачі живильної води, яка змінювалась за допомогою регульовальних арматур 4 і 16 (рис. 1). У результаті пробних досліджень було встановлено, що швидкість подачі живильної води не повинна перевищувати 3 л/с.

Для визначення тривалості подачі води була досліджена часова зміна температури по висоті конвективної шахти. Ця температура визначалась за допомогою штатних термомпар. На рис. 2

показано криві зміни температури повітря (газів) по висоті конвективної шахти, отримані в одному з експериментів.

При увімкненні димотяга температури на усій висоті шахти падають, що цілком природно.



*Рис. 2. Часова залежність температури повітря по висоті конвективної шахти котла ТП-10 під час проходження через економайзер живильної води (направляючи димотяга в першій фазі сушіння закриті, димотяг увімкнено о 13,7 год)*

Критерієм достатності прогрівання конвективної шахти шляхом подачі живильної води з метою сушіння теплосприймальних поверхонь ми обрали температуру повітря у верхній частині конвективної шахти котла, за другим – ступінь водяного економайзера. Експериментально було встановлено, що за досягнення в цій частині температури  $70^{\circ}\text{C}$  і більше та за включення димотяга, температура повітря, яке рухається вниз конвективної шахти (у підбункернику), через 20–40 хв роботи димотяга сягає температури  $40^{\circ}\text{C}$  і більше, що повинно забезпечувати нормальний процес сушіння усіх, в тому числі хвостових поверхонь нагрівання котла.

На етапі попередніх випробувань ми також встановили величини швидкості циркуляції повітря у підбункернику котла за рахунок присмоктів. За повністю закритої арматури 25 вона становить  $0,12\text{ м/с}$ , за повністю відкритої –  $0,35\text{ м/с}$ . Швидкість руху газів (повітря) у газоході вимірювали за допомогою термоанемометра ТА-8.

Отже, в результаті експлуатаційних випробувань були вибрані:

Швидкість подачі живильної води –  $2\text{--}3\text{ л/с}$ ;

Тривалість її подачі визначається досягненням у верхній частині конвективної шахти температури не менше  $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$ .

#### *Проведення експлуатаційних випробувань:*

1. Водяне миття конвективної шахти котла здійснювали двома пожежними брандспойтами. Температура води –  $20^{\circ}\text{C}$ , тиск води –  $6\text{ кгс/см}^2$ . Особливу увагу необхідно приділяти мінімізації зволоження бічних стін конвективної шахти, насамперед в області обмурівки, тобто потрібно максимально уникати потрапляння струменів води на бічні поверхні шахти.

2. Через дві години після закінчення миття, коли стікання основної маси води з поверхонь котла закінчилось, на вузлі регулювання відкривали запірні вентиля 2, 3, 13 і 15 (рис. 1) та за допомогою регулювальних вентилів 4 і 16 встановлювали витрату живильної води, яка через нижні

відкриті точки поступала у дренажний бак, в кількості 2–3 л/с. Відмічали температуру живильної води на вході у котел та на вході у дренажний бак. Знімали покази штатних давачів температури, що є розташовані у конвективній шахті з інтервалом 40–60 хв.

3. Особливим питанням, яке необхідно було зв'язувати в процесі експериментів, – це стан направляючих апаратів 25 (шиберів) перед димотягом 26 за подачі живильної води після миття. Відповідь на це питання можна було отримати лише в процесі експериментальних випробувань, тобто процедуру сушіння необхідно було проводити як для закритих, так і для відкритих направляючих апаратів.

Якщо подачу живильної води здійснювали за відкритих направляючих апаратів, то за досягнення у верхній частині конвективної температури 70 °С направляючий апарат залишали привідкритим на 15–20 %. Якщо подачу води здійснювали за закритих направляючих апаратів, тоді його відкривали на 15–20 %.

4. Вмикали димотяг каналу, фіксували час, відмічали покази лічильника електроенергії, яка споживалась двигуном димотяга. Вимірювали температуру живильної води і її подача припинялась. З інтервалом 3–5 хв знімали покази вологості та температури у підбункернику. Також вимірювали швидкість повітря у підбункернику за допомогою термоанемометра ТА-8.

5. Тривалість роботи димотяга становила 70–85 хв, що приблизно відповідає часу стабілізації відносної вологості потоку повітря в підбункернику.

Швидкість повітря у підбункернику за включеного димотягу в усіх випадках становила 1,5 м/с.

Середня температура живильної води на вході в котел у всіх випадках становила 205 °С.

Середню температуру живильної води на вході у дренажний бак визначали як середнє арифметичне температур води на початку її подачі у бак та в кінці.

Під абсолютною вологістю повітря фону  $\rho_f$  розуміємо вологість повітря навколишнього середовища, яке слугує сушильним агентом у процесі сушіння котла.

#### Результати випробувань

На рис. 3 і 4 зображено характерні графіки залежності зміни абсолютної вологості повітря в підбункернику котла ТП-10 під час роботи димотяга у процесі термічного сушіння котла після проведення водяних обмивань під умовними номерами 2 і 5, які характеризуються різним положенням направляючих апаратів димотяга. Це повітря є відпрацьованим (зволоженим) сушильним агентом на виході з котла і динаміка зміни його вологості якнайповніше характеризує процес термічного сушіння поверхонь котла.

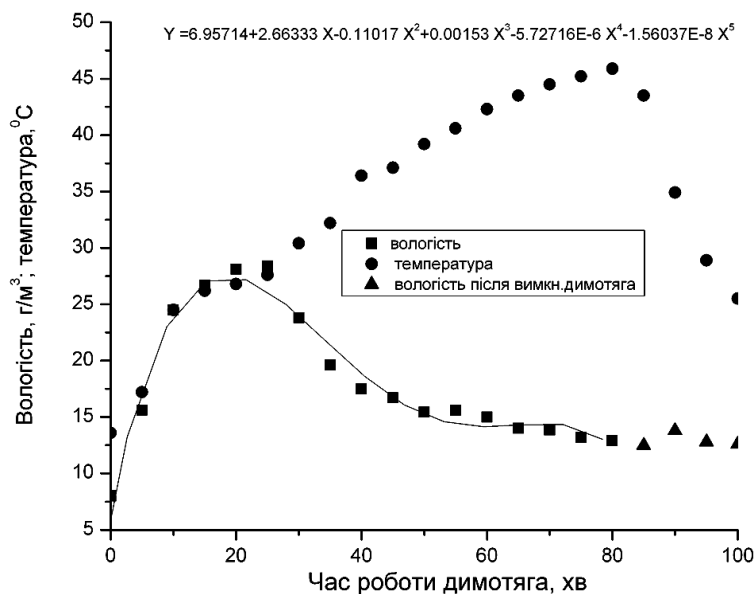


Рис. 3. Динаміка зміни вологості повітря у підбункернику котла під час роботи димотяга. Друге миття (направляючі апарати димотяга під час подачі живильної води були закриті)

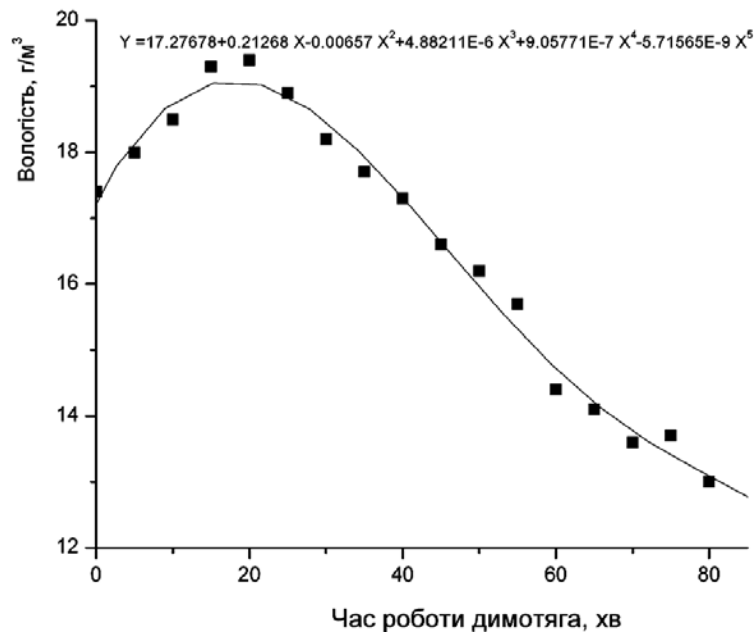


Рис. 4. Динаміка зміни вологості повітря у підбункернику котла під час роботи димотяга. П'яте миття (направляючі апарати димотяга під час подачі живильної води були відкриті)

Криві цих графіків подібні між собою – на початку роботи димотяга характеризуються підйомом, який досягає максимуму, і подальшим відносно повільним спадом вологості. Теоретично цей спад має вийти на рівень фонові вологості. Час цього виходу правдоподібно визначається порівняно повільними процесами сушіння мокрих стін обмурівки конвективної шахти та поверхонь газоходів, біля яких швидкість сушильного агента є незначною. На графіку для другого миття одночасно з вологістю повітря показано також зміну температури повітря в підбункернику.

*Оцінка маси вологи, яка виноситься з котла під час його термічного сушіння*

Площа під кривими  $\rho=r(\tau)$  (рис. 3 і 4) пропорційна до маси вологи  $M$ , яка пройшла через газопровід котла під час роботи димотяга за проміжок часу від  $\tau_1=0$  до  $\tau_2$ , який дорівнює тривалості роботи димотяга. Щоб визначити чисту масу вологи  $M_{\phi}$ , яка була вилучена з об'єму котла за рахунок роботи димотяга, від  $M$  необхідно відняти масу фонові вологи  $M_{\phi}$ , тобто вологи, яка початково є в повітрі (сушильному агенті) під час його потрапляння в котел за рахунок присмоктів за час роботи димотяга.  $M_{\phi}$  визначається як

$$M_{\phi} = (t_1 - t_2) \times r_{\phi} \times V, \tag{1}$$

де  $V$  – об'єм повітря, яке проходить газохід за одиницю часу;  $r_{\phi}$  – абсолютна вологість сушильного агента, г/м³.

Хід кривих  $\rho=r(\tau)$  апроксимується поліномами 5 степеня, які показані на полі рисунків. Інтеграл від полінома для конкретної кривої від  $t_1$  до  $t_2$  пропорційний до маси вологи  $M_{\phi}$ , вилученої з котла за час роботи димотяга:

$$M = V \times 60 \int_{t_1}^{t_2} r(t) dt, \text{ за час роботи димотяга від } t_1 \text{ до } t_2 \text{ (хв)}. \tag{2}$$

Об'єм повітря  $V$ , який проходить газоходом за одиницю часу:

$$V = u \times S = 1,5 \times 36 = 54 \text{ м}^3/\text{с} = 3240 \text{ м}^3/\text{хв},$$

де  $u$  – швидкість повітря в підбункернику за включеного димотяга;  $S$  – площа поперечного перетину підбункерника.

Отже, для **другого миття** (протягом 80 хв) можна обчислити кількість вологи видаленої з котла за час  $t_2 - t_1$  за формулою

$$M = \int_{t_1=0}^{t_2} r(t)dt = 3240 \int_{t_1=0}^{t_2} (6,95714 + 2,66333t - 0,11017t^2 + 0,00153t^3 - 5,72716 \times 10^{-6} \times t^4 - 1,56037 \times 10^{-8} \times t^5)dt. \quad (3)$$

Для визначення (встановлення) динаміки процесу видалення вологи з котла у процесі роботи димотяга були обчислені значення  $M$  для  $t_2 = 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70$  і  $80$  хв. В зв'язку з тим, що поліном задовільно апроксимує хід кривої  $r = r(t)$  лише у часовому інтервалі від 0 до 80 хв обчислювати значення  $M$  за межами цього інтервалу за формулою (3) є некоректно.

Були обчислені величини  $M$  і  $M_e = M - M_\phi$  для вказаних значень  $t_2$  і побудований графік  $M_e = M_e(t_2)$ , який показано на рис. 5 (крива 1). Апроксимаційна формула цього графіка має такий вигляд:

$$M_e = A_2 + (A_1 - A_2) / [1 + \exp((t - B) / C)], \quad (4)$$

де  $A_1 = -950$  кг;  $A_2 = 3230$  кг;  $B = 22,3$  хв;  $C = 17,4$  хв.

Для **п'ятого миття** (протягом 80 хв) маса вологи винесена з котла за час роботи димотяга:

$$M = \int_{\tau_1=0}^{\tau_2} \rho(\tau)d\tau = 3240 \int_{\tau_1=0}^{\tau_2} (17,27678 + 0,21268\tau - 0,00657\tau^2 + 94,88211 \times 10^{-6} \tau^3 + 9,05771 \times 10^{-7} \times \tau^4 - 5,71565 \times 10^{-9} \times \tau^5) d\tau. \quad (5)$$

Аналогічно до другого миття були обчислені значення  $M'_e$  для різних значень  $t_2$ .

Проте необхідно врахувати, що завдяки відкритим напрямним під час першої фази швидкість повітря у підбункернику становила 0,35 м/с і за час подачі живильної води (7,15 год) через газохід може бути винесена значна кількість вологи  $M_{вин}$ . Оцінимо її. Для цього треба знати середнє значення  $\rho_{сер}$  у газоході за час подачі живильної води. Знайдемо його, як середнє арифметичне між вологістю фону  $\rho_\phi = 7,7$  г/м<sup>3</sup> і вологістю  $\rho$  в підбункернику на початку увімкнення димотяга, яка дорівнює 17,4 г/м<sup>3</sup> (рис. 4). Тоді  $\rho_{сер}$  дорівнює 12,6 г/м<sup>3</sup>.

Отже,  $M_{вин} = 0,35 \times 36 \times 7,15 \times 3600(12,6 - 7,7) = 1589$  кг.

Отже, на момент увімкнення димотяга ( $t_1 = 0$ ) з котла було винесено приблизно 1590 кг вологи за рахунок самотяги, яку необхідно врахувати у загальному балансі видаленої з котла вологи.

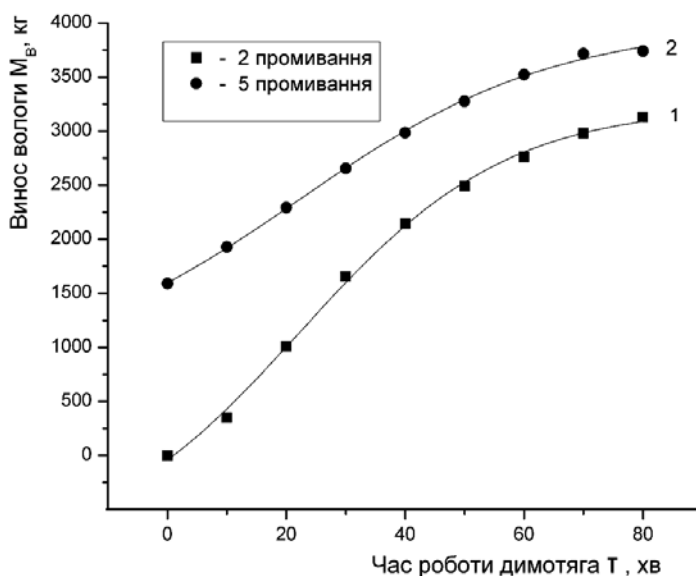


Рис. 5. Часова залежність процесу виносу вологи з котла під час роботи димотяга

Це означає, що усі значення  $M'_g$  в часовому проміжку від  $t_1 = 0$  до  $t_2 = 80 \text{ хв}$  повинні бути зміщені вгору по осі  $Y$  на величину 1590 кг, що і відображено на рис. 5 (крива 2), тобто  $M_g = M'_g + 1590$  кг.

Крива 2 на рис. 5, яка відповідає п'ятому миттю, описується апроксимаційною формулою типу (5), за таких значень параметрів:  $A_1 = 759 \text{ кг}$ ;  $A_2 = 3990 \text{ кг}$ ;  $B = 22,3 \text{ хв}$ ;  $C = 21,3 \text{ хв}$ .

Застосування формули (5) для опису динаміки процесу сушіння котла дає змогу оцінити граничну величину вологи  $M_{в.гран}$ , що міститься на стінках котла після миття. Якщо час роботи димосмока  $t \rightarrow \infty$ , то з (5) випливає, що для другого миття  $M_{в.гран} = A_2 = 3230 \text{ кг}$ , для п'ятого –  $M_{в.гран} = A_5 = 3990 \text{ кг}$ .

Отже, на прикладі двох миттів (за відкритих напрямних та закритих) визначено масу води, яка покинула котел ТП-10 в процесі сушіння і яка відповідно становить приблизно 3990 і 3200 кг. Отже, після водяного миття котла на поверхнях переважно конвективної шахти залишається значна, вимірювана в тоннах, кількість вологи, випаровування якої природним шляхом є, очевидно, довготривалим процесом. Ця волога за незадовільного сушіння котла істотно прискорює процеси атмосферної корозії зовнішніх поверхонь нагрівання.

### Висновки:

1. Подача у пароводяний тракт котла ТП-10 живильної води з загальностанційного трубопроводу дає змогу організувати без проведення додаткових доробок обладнання, комунікацій тощо якісну і малозатратну процедуру термічного сушіння зовнішніх поверхонь нагрівання після проведення водяного миття.

2. Особливу увагу під час миття необхідно приділяти мінімізації зволоження стін конвективної шахти, насамперед в області обмурівки.

3. Експериментально встановлено, що швидкість подачі живильної води повинна бути в діапазоні 2–3 л/с.

4. Отримані аналітичні залежності для опису динаміки зміни вологості повітря як сушильного агента на виході газового тракту котла за включеного димотяга. На підставі цього встановлено часову залежність виносу вологи з котла

5. Визначена кількість вологи, яка виноситься під час термічного сушіння котла ТП-10 після його миття. Вона становить приблизно 3200–4000 кг.

1. Янко П.І. *Режими експлуатації енергетичних котлів [Текст]* / П.І. Янко, Й.С. Мисак. – Львів: ПФ “Українські технології”, 2004. – 272 с. 2. *Котельна установка [Текст]. Пат. 85517 Україна: МПК F22B33/00, F23C 9/00, F23L 15/00* / Брикайло Р.В., Мисак Й.С.; заявники і патентовласники Добротвірська ТЕС ВАТ “ЗАХІДЕНЕРГО”, Національний університет “Львівська політехніка”. – № а 2007 03316; заявл. 27.03.2007; опубл. 10.10.2008. – Бюл. № 19. – 4 с. 3. *Котельна установка [Текст] пат. 94510 Україна: МПК F22B33/00, F23C 9/00, F23L 15/00* / Брикайло Р.В., Мисак Й.С., заявники і патентовласники Добротвірська ТЕС ВАТ “ЗАХІДЕНЕРГО”, Національний університет “Львівська політехніка”. – № а 2009 10705; Брикайло Р.В., Мисак Й.С.; заявлено 23.10.2009; опубл. 26.04.2011. – Бюл. № 8. – 3 с.