



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38883 (13) A

(51 7 C21B13/00, F27B14/06)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПЕЧІ

(21) 2000116393

(22) 13.11.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Кравченко Борис Васильович, Харченко Ана-
толій Васильович, Коренев Сергій Григорович(73) Відкрите акціонерне товариство "Концерн
СТИРОЛ"

(57) Спосіб регулювання теплового стану печі, який полягає у безперервній подачі твердого палива в камеру та окислювального газу через фурми, створенні надфурменої рідкоемульсійної зони і підфурменої зони спокійного стану розплаву шлаку, стабілізації теплового стану розплаву шляхом зовнішнього регульованого електрообігріву, який **відрізняється** тим, що тепловий стан печі регулюють у кожній зоні фазового стану розплаву, створюючи перемінну по висоті печі теплову потужність електрообігріву, при цьому висоту зони

електрообігріву в рідкоемульсійній зоні вибирають в залежності від витрати окислювального газу через фурми за формулою:

$$H = K \cdot G_B^{0,5}$$

де H – висота зони електрообігріву, м; G_B – витрата дуття через фурми, м³/год; K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від параметрів печі, якості спалюваного палива, співвідношення кисню в дутті, що визначається по залежності:

$$K = 1,2h_0 \frac{V_{д.г.В}}{U_0^{0,5} F(G_B)^{0,5}}$$

де: 1,2 – емпіричний коефіцієнт; h_0 – рівень розплаву в спокійному стані, м; U_0 – теоретичне газове навантаження поверхні розплаву нм³/м²ч.; F – площа поперечного перерізу камери розплаву, м²; $V_{д.г.}$ – фактичний вихід димових газів, м³/кг; B – витрати палива, кг/год.

Винахід відноситься до теплотехніки, до способів управління тепловим режимом печі і може бути використаний в установках малої теплової потужності і продуктивності, а також для створення фізичної моделі процесу спалювання твердого палива погіршеної якості в розплаві шлаку.

Авторам відомий спосіб регулювання теплового стану печі, який полягає у безперервній подачі твердого палива та окислювального газу через занурені у розплав фурми, створення надфурменої барботажної зони і підфурменої зони розплаву шлаку, стабілізації теплового стану розплаву (див.: А.с. 473886, МПК F27B1/00. Б.И. № 22, опубл. 14.06.1975). У відомому способі тепловий стан печі регулюють шляхом відводу тепла від розплаву до водоохолоджувальних поверхонь кесонірованого пояса через шар гарнісажа, який формується із закристалічного шлаку, змінюючи витрату охолоджуючої води в охолоджуючих поверхнях нагріву, регулюючи товщину гарнісажного шару. При цьому шар гарнісажа виконує роль теплової ізоляції, надійно захищає конструкційні елементи печі (кесони) від можливої взаємодії із пічними газами, абразивними твердими частинками і краплями розплаву, що підвищує їх робочий ресурс.

Недоліками такого способу регулювання теплового стану печі малої теплової потужності є низька надійність, тому що в нестационарних умовах роботи плавильної печі при зниженні її потужності зменшується витрата палива. Тепловідвід від розплаву через охолоджувальні поверхні при цьому знижується, але менш інтенсивно ніж теплова потужність печі. Втрата тепла від розплаву через шар гарнісажа до стінок печі і в навколишнє середовище залишається значною. Внутрішньої енергії, отриманої в результаті окислювальних процесів палива не достатньо для відновлення втрат тепла. Це призводить до зниження температури розплаву, зменшення в'язкості шлаку, його загуснення та утворення кірок, настилів на стінках печі, порушення режиму барботування, і, врешті решт-до аварійної зупинки печі із шлаком, що в ній застиг. При цьому знижується якість наукових досліджень щодо освоєння нової технології спалювання твердого палива у розплаві власного шлаку. Виключається можливість скоординувати теоретичні та експериментальні дослідження хімічних, фізичних і механічних процесів, що лежать в основі цієї технології, створити банк науково-технічної інформації, яка необхідна для скорочення строків і вартості освоєння технології.

(19) UA (11) 38883 (13) A

Найбільш близьким за технічною сутністю є спосіб регулювання теплового стану печі, який полягає в безперервній подачі твердого палива в камеру та окислювального газу - через фурми, створення надфурменної рідкоемальсійної зони і підфурменної зони спокійного стану шлаку, стабілізації теплового стану розплаву шляхом організації зовнішнього регульованого електрообігріву (див.: Отчет о НИР "Разработка технических предложений по модельной печи экспериментального стенда установки газификации твердого топлива". № гос. рег. 01920042993, Харьков, 1992, арх. № 134). У відомому способі регулюють тепловий стан печі, змінюючи теплову потужність електрообігрівача, варіюючи загальну потужність в його ланцюгу за допомогою регулятора напруги. При цьому теплова потужність електрообігрівача зберігається однаковою по всій висоті печі, а температуру регулюють одночасно у всьому обсязі печі. Недоліком такого рішення є низька ефективність і достовірність наукових даних, що отримуються в ході дослідження в цій печі нової технології через недостатнє наближення умов досліджень до реальних. Даний спосіб регулювання теплового стану печі застосовується для дослідження фізичних і хімічних властивостей шлаку, а також дослідження тепломасообміну "розплав-стінка", у спокійному стані розплаву, або "газове середовище-стінка-повітряний простір". При дослідженні в лабораторній установці гідродинамічних процесів, які виникають при спалюванні твердого палива в барботованому розплаві шлаку можливості досліджень будуть обмежені з такої причини. При використанні барботажних процесів для перемішування розплаву та поліпшення вигорання органічної маси палива, в печі утворюються декілька зон стану робочого середовища, кожне із своїми умовами теплообміну. Такі як: газова зона над розплавом, надфурменна рідкоемальсійна барботажна зона і підфурменна зона спокійного стану шлаку. Якщо при дослідженні процесу тепломасообміну "розплав-гарнісаж-стінка" вибрати потужність електрообігрівача, яка відповідає температурі рідкого шлаку в підфурменній зоні (виходячи з умови надійності роботи печі) при однаковому тепловому навантаженні по висоті електрообігрівача, то в рідкоемальсійній зоні відбудеться зруйнування і розмивання гарнісажу. Через те, що за рахунок барботажних процесів у цій зоні різко збільшується коефіцієнт теплопередачі від розплаву до поверхонь, які огорожують. В дослідній печі буде відбуватись барботажний процес за своїми характеристиками, які відрізняються від реальних. Крім того, буде спостерігатись підвищена нераціональна витрата електроенергії і невиробничі втрати тепла в газовій і рідкоемальсійній зоні. При виборі теплової потужності електрообігрівача, яка відповідає температурі розплаву в рідкоемальсійній зоні, необхідній для утворення надійної, постійної товщини гарнісажу, у підфурменній зоні температура шлаку встановиться нижче розрахункової, відбудеться збільшення в'язкості шлаку, можливе утворення настилів, внаслідок різних в десятки і сотні разів коефіцієнтів теплопередачі між стінкою і розплавом у рідкоемальсійній зоні і зоні спокійного стану шлаку.

Тому для підвищення ступеня достовірності наукових досліджень та ефективності регулювання процесу потрібне більш старанний і раціональний розподіл величини тепловідводу від цих різнорідних середовищ зазначених зон до поверхонь печі.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу регулювання теплового стану печі, які стабілізують, створюючи перемінний по зонах печі зовнішній електрообігрів її стінок, вибираючи висоту електрообігріву в рідкоемальсійній зоні в залежності від витрати окислювального газу через фурми, забезпечуючи при цьому високу надійність роботи всіх зон печі як в базовому, так і в нестационарному режимах, виключаючи невиробничі втрати тепла та електроенергії, що дозволить підвищити ступінь достовірності наукових досліджень теплових та інших процесів, що здійснюються в печі малої продуктивності.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі регулювання теплового стану печі, який полягає в безперервній подачі твердого палива в камеру та окислювального газу через фурми, створення надфурменної рідкоемальсійної і підфурменної зони спокійного стану розплаву шлаку, стабілізації теплового стану розплаву шляхом зовнішнього регульованого електрообігріву, згідно із винаходом, тепловий стан печі регулюють у кожній зоні фазового стану розплаву, створюючи перемінну по висоті печі теплову потужність електрообігріву, при цьому висоту зони електрообігріву в рідкоемальсійній зоні вибирають в залежності від витрати окислювального газу через фурми за формулою:

$$H = K \cdot G_B^{0,5} \quad (1)$$

де H – висота зони електрообігріву, м; G_B – витрата дуття через фурми, $\text{м}^3/\text{год}$; K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від параметрів печі, якості спалюваного палива, співвідношення кисню в дутті, що визначається по залежності:

$$K = 1,2 h_0 \frac{V_{д.г.} B}{U_s^0 F (G_B)^{0,5}} \quad (2)$$

де 1,2 - емпіричний коефіцієнт; h_0 - рівень розплаву в спокійному стані, м; U_s^0 - теоретичне газове навантаження поверхні розплаву $\text{нм}^3/\text{м}^2\text{ч}$; F - площа поперечного перерізу камери розплаву, м^2 ; $V_{д.г.}$ - фактичний вихід димових газів, $\text{м}^3/\text{кг}$; B - витрати палива, $\text{кг}/\text{год}$.

Регулювання теплового стану печі шляхом створення перемінної по висоті печі теплової потужності електрообігріву в зонах з різним фазовим станом розплаву шлаку, які характеризуються різним коефіцієнтами теплопередачі від стінки до робочого середовища і різними питомими тепловими потоками, дозволить забезпечити раціональний розподіл величини тепловідводу від зазначених різнорідних середовищ до поверхні печі, підтримати температуру розплаву, що відповідає в'язкості шлаку в надфурменній і підфурменній зонах, організувати надійний процес барботажу шлакової ванни як в базовому режимі роботи печі, так і при зниженому навантаженні. Можливість надійної роботи печі в нестационарних умовах дозволить розширити діапазон досліджень, виключити невиробничі втрати тепла та електроенергії. Вибір висоти області електрообігріву в рідкоемальсійній

зоні по запропонованій математичній залежності дозволить оптимізувати витрату електроенергії на підігрів ванни печі, знизити витрати на наукові дослідження.

На фіг. 1 подана лабораторна піч, яка працює з номінальним навантаженням. На фіг. 2 наведений графік режиму роботи печі спільно із електрообігрівачем.

Піч 1 містить ванну 2 із реакційним тиглем 3, який обігрівается електрообігрівачем 4, виконаним із секціями 5, 6, 7, а також фурми 8, отвір 9 для випуску розплаву, завантажувальне вікно 10 і газохід для виходу газів 11. Піч покрита ізоляційним матеріалом 12.

Спосіб здійснюється таким чином.

В робочу ванну 2 печі 1 через завантажувальний отвір 10 завантажують тверде паливо, рівень якого в тиглі 3 встановлюється вище осі фурм 8. Включають всі секції електрообігрівача 4 на номінальне навантаження. Паливо в тиглі нагрівається і при досягненні температури плавлення 1500°C , розплавляється. При наплавленні в ванні необхідного рівня розплаву подають кисневмісний газ через фурми 8 під рівень розплаву, барботуючи та інтенсивно перемішуючи його. Димові гази, що утворюються при сталюванні палива, проходять газовий простір і через газохід 11 залишають піч 1. Після закінчення пускового періоду піч переходить на активний режим плавлення. В печі утворюються три зони із різними питомими тепловими потоками (g). Перша - це підфурменна зона (h_1), в якій розплав знаходиться у нерухомому або мало рухомому (спокійному стані). Друга - це надфурменна зона інтенсивного перемішування, в якій розплав знаходиться в рідко-емulsійному стані (h_2). Третя зона - газовий простір над розплавом (h_3). При барботажі зони h_2 теплові потоки від розплаву до стінок печі досягають найбільшої величини, на порядок перевищуючи рівень теплових потоків у зоні h_1 . У третій зоні h_3 теплові потоки мають менші значення, ніж у першій зоні h_1 , так як тут в теплопередачі основну роль відіграє коефіцієнт теплопередачі від газів до стінки ванни, а він має менше значення, чим коефіцієнт теплопередачі від розплаву до стінки (при безпосередньому їх зіткненні). Друга і третя зона змінюються по площі в залежності від висоти барботажного шару. Перша зона при зміні навантаження не змінюється по висоті і дорівнює відстані від подини ванни до рівня фурм, має по всій висоті одну й ту ж температуру, незмінний коефіцієнт теплопередачі і тепловий потік. В цій зоні потужність електрообігріву буде незмінною по висоті, незалежно від робочого навантаження печі, змінюючись тільки при її пуску. Третя зона - зона газового простору має практично постійний коефіцієнт теплопередачі, температуру і тепловий потік по висоті простору. Як і в першій зоні потужність обігріву її може бути задана і постійною при всіх режимах роботи печі. Висота другої зони коливається від навантаження печі і змінює своє значення від 0 до h при номінальному навантаженні. В результаті змінюється і тепловий потік по висоті другої зони, так як розплав, який барботується, і газова зона мають в десятки разів різні коефіцієнти теплопередачі. Електропідігрівач повинен змінювати свою потужність по висоті другої зони згідно із висотою розплаву. Висота над-

фурменної зони розплаву ($h_2=H$) залежить від газового навантаження печі і визначається за формулами (1, 2):

$$h_2 = H = 1,2h_0 \frac{V_{\text{д.г.В}}}{U_{\text{SF}}^0(G_{\text{В}})^{0,5}}$$

Згідно із цією висотою рідкоемulsійного розплаву змінюється висота зони електрообігріву h_2 у надфурменній зоні шляхом зміни числа увімкнених секцій електрообігрівача.

У співвідношенні (3) залежність $V_{\text{д.г.В}}/F = U_{\text{S}}$ є фактичне газове навантаження розплаву. Воно залежить від витрати палива V , фактичного виходу димових газів $V_{\text{д.г.}}$ площі поперечного перерізу камери розплаву F . Разом із тим фактичний вихід димових газів пов'язаний із витратами повітря на 1 кг палива $V_{\text{в}}$ співвідношенням

$$V_{\text{д.г.}} = V_{\text{В}}1153$$

де: коефіцієнт 1,153 - співвідношення обсягу димових газів до об'єму повітря.

Враховуючи ці співвідношення, визначаємо залежність фактичного газового навантаження U_{S} у вигляді:

$$U_{\text{S}} = 1,153V_{\text{В}}B_{\text{T}}/F$$

Добуток $V_{\text{В}}B_{\text{T}}=G_{\text{в}}$ - витрата дуття в одиницю часу, який вимірюється витратоміром повітря.

З урахуванням останньої залежності (3) перетвориться до виду:

$$h_2 = H = 1,2h_0 \frac{1153G_{\text{В}}}{U_{\text{SF}}^0(G_{\text{В}})^{0,5}}$$

або $H \propto G_{\text{в}}$, що відповідає залежності (1), де: $K=1,2 \times 1,153h_0/(U_{\text{SF}}^0)^{-}$ - коефіцієнт пропорциональності, преобразований з урахуванням співвідношень витрат повітря та димових газів.

Таким чином, регулювання потужності секцій електрообігрівача у другій зоні знаходиться в прямій залежності від витрати дуття. В процесі роботи печі з подачею дуття через фурми вмикають регулювання електрообігріву по висоті другої зони. Потужність електрообігріву по зонах h_1 , h_2 , h_3 , встановлюється за раніше виконаними розрахунками на задатчику регулятора потужності із умови, що номінальному тепловому навантаженню печі відповідає температура розплаву $1550-1650^{\circ}\text{C}$ або в залежності від програми досліджень. При цьому в'язкість розплаву досягає 2,7 Пз і забезпечується стійкий барботаж розплаву. При зниженні навантаження, зменшують подачу палива і кисневмісного газу, при цьому знижується рівень розплаву 1, відповідно в залежності від дуття, висота обігріву електронагрівачем другої зони із одночасним збільшенням його потужності у другій зоні. Потужність електрообігрівача в першій і третій зонах залишається незмінною або змінюється залежно від програми досліджень. При зупинці печі відключають подачу дуття через фурми і потужність електрообігрівача встановлюють однаковою по всіх зонах.

Температура розплаву підтримується задатчиком на рівні, який відповідає рідкоплинному стану шлаку до наступного запуску печі або його зливання.

Приклад 1 здійснення способу

Піч потужністю 150 кВт розрахована на газифікацію твердого палива, яке має наступні характеристики: найнижча теплота спалювання $Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}=4560$ ккал/кг; зольність $A^{\text{Р}}=34\%$; вологість $W_{\text{Р}}=13\%$. Робоча камера 2 печі 1 круглого перерізу має висоту 1,5 м і площу 0,2 м². Піч постачена зовнішнім електрообігрівачем, виконаним секційним по висоті ванни розплаву.

Розрахунок 1. Розрахунок зміни площі обігріву камери газифікації по її висоті в залежності від витрати дуття.

Режим роботи визначається газовим навантаженням. Газове навантаження - витрата газів через одиницю поверхні площі в одиницю часу ($U_{\text{с}}$, м³/м² год). Для подібних печей газове навантаження теоретично оцінюється в 1500 м³/м²·год. Потрібна витрата повітря на 1кг палива дорівнює $G_{\text{в}}=3,776$ нм³/кг, об'єм димових газів дорівнює $V_{\text{д.г}}=4,357$ нм³/кг.

При проектному рівні розплаву в спокійному стані ($h_0=0,5$ м) рівень барботованого розплаву ($h_2=H$) визначають по формулі (3). Для номінального режиму $D_{\text{н}}$: $B=75$ кг/год:

$$H = 0,5 \times 1,2 \frac{75 \times 4,357}{1500 \times 0,2 \times (3,776 \times 75)} = 1,099 \text{ м}$$

Для режиму 0,5 $D_{\text{н}}$ та 0,25 $D_{\text{н}}$ ці значення будуть дорівнювати 0,386 та 0,137 м. У той же час для прототипу висота зони обігріву не змінюється, що призводить до перевитрат електроенергії (див. таблицю).

Згідно з цією висотою рідкоемальсійного шару і змінюється висота зони електрообігріву в зоні 2 шляхом зміни числа увімкнутих секцій обігрівача. Ця зміна розрахована по запропонованій вище методиці і внесена в задатчик увімкнутих секцій електрообігрівача.

Розрахунок 2.

Для збереження теплового стану печі і виходу рідкого шлаку потужність, що споживається, увімкнених секцій електрообігріву збільшується при зменшенні навантаження печі. Покажемо це.

Спрощене рівняння теплового балансу має вигляд

$$Q_1 = Q_{\text{шл}} + Q_{\text{ух}} + Q_{\text{пот}}$$

де: Q_1 - розташоване тепло печі, яке визначається витратою палива та його теплотворною здатністю:

$$Q_1 = Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \times B$$

$Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}=4560$ ккал/кг, $B=75$ кг/год; $Q_{\text{шл}}$ - втрати із шлаком, ккал/кг; $Q_{\text{шл}}=0,01 C_{\text{шл}} B_{\text{шл}} A^{\text{Р}}$, ккал/кг; $C_{\text{шл}}$ - ентальпія шлаку при температурі розплаву, рівна 420 ккал/кг, $A^{\text{Р}}$ - зольність палива, %; $Q_{\text{пот}}$ - втрати на охолодження печі, складають 10% від $Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}$ є постійними при будь-якій зміні навантаження печі.

В режимі номінального навантаження спостерігається небаланс тепла, або його дефіцит:

$$Q_1=403 \text{ кВт},$$

$$(Q_1 = Q_{\text{шл}} + Q_{\text{ух}} + Q_{\text{пот}}) = 523 \text{ кВт}$$

Цей дефіцит у розмірі 120 кВт поповнюється електронагрівачем, котрий підводить теплоту в барботажну зону, висота котрої складає 1,099 м, що обраховано у розрахунку 1.

У той же час у прототипі теплота підводиться по всій висоті при повному навантаженні підігрівача потужністю 150 кВт.

Економія порівняно з прототипом складає 30 кВт.

В режимі 0,5 $D_{\text{н}}$:

$$Q_1=201,5 \text{ кВт}, (Q_1 = Q_{\text{шл}} + Q_{\text{ух}} + Q_{\text{пот}}) = 261,5 \text{ кВт}$$

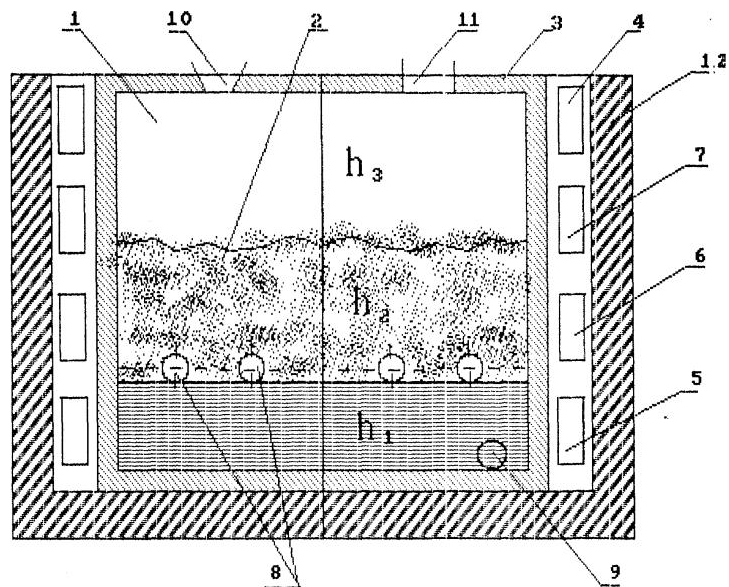
Дефіцит тепла -61 кВт, у прототипі - 75 кВт, економія - 14 кВт.

Дані розрахунку для інших режимів наведені в таблиці.

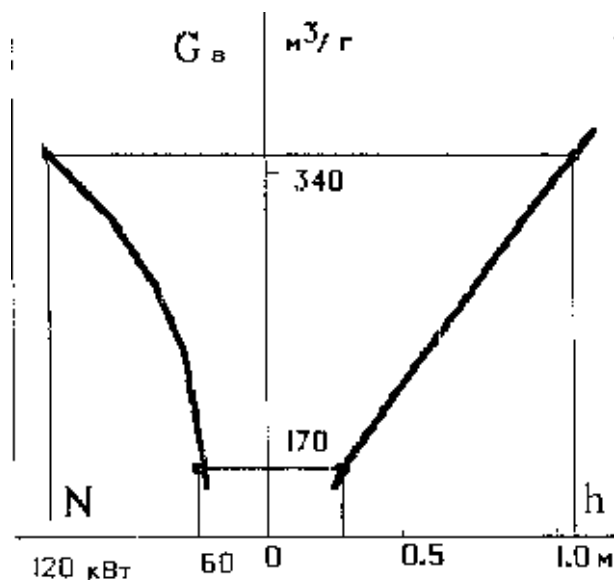
За даними витрат будується графік режиму роботи електрообігрівача, фіг.2. За відомою витратою дуття (яка вимірюється або задається) за допомогою графіка визначається висота рідкоемальсійного шару і необхідна додаткова потужність електрообігрівача в залежності від виходу $\text{CO}\%$.

Таблиця

№ п/п	Найменування параметру	Значення			
		У заявленому		У прототипі	
		100%	50%	100%	50%
1	Висота печі, м.	2,0	2,0	2,0	2,0
2	Висота зони спокійного стану, h_0 , м.	0,5	0,5	0,5	0,5
3	Висота зони барботуємого розплаву, h_2 , м	1,099	0,386	1,099	0,386
4	Площа печі, м ²	0,5	0,5	0,5	0,5
5	Встановлена потужність електронагрівача, кВт.	150	75	150	75
6	Витрати вугілля, кг/ч	75	37,5	75	37,5
7	Загальні витрати теплоти палива, кВт.	403	201,5	403	201,5
8	Теплові витрати, кВт.	523	261,5	523	261,5
9	Дефіцит теплоти, покриваєий за рахунок потужності електронагрівача, кВт.	120	61	150	75
10	Економія потужності, кВт.	30	14	0	0



Фіг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22